

Studijní program B2341 - Strojírenství

Studijní obor: 2302R022 Stroje a zařízení

Zaměření: Sklářské stroje

Alternativní studie pohonu deformačních přísavek

(Alternative Engine study of deformation suckers)

KSR -

Petr TEŠNAR

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marcel Horák, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michal Starý, Ph.D.

Rozsah bakalářské práce:

Počet stran:	58
Počet tabulek:	2
Počet obrázků:	51
Počet výkresů:	11
Počet grafů:	4
Počet modelů:	0

Datum odevzdání: 24. 5. 2013

Alternativní studie pohonu deformačních přísavek

Anotace

Práce předkládá návrh koncepce pohonu ovládacího systému pasivní deformační přísavky jako alternativu k běžně dodávaným přídržným systémům pro ruční manipulaci s plochým sklem a snaží se minimalizovat energetické nároky při zachování dostatečné úrovně bezpečnosti držení. V práci je řešena současná situace pasivních přísavek a jejich využití bez aktivního pohonu, zabývá se možnostmi řešení konstrukce aktivního pohonu ve spojení s aktivní nebo pasivní deformační přísavkou. V poslední části jsou vyhodnocovány a shrnuty základní přednosti daného řešení. Výsledkem práce je pak prototyp úchopného prvku na platformě pasivních přísavek s řízenou mírou deformace prostřednictvím aktivního pohonu.

Alternative Engine study of deformation suckers

Annotation

This work presents the design concept of the drive control system of passive deformation suction as an alternative to commonly supplied retaining systems for manual handling of flat glass and seeks to minimize the energy demands while maintaining sufficient levels of security holdings. The paper is dealing with the current situation of passive suction cups and their use without the active drive and also deals with the possibilities of active drive design solutions in conjunction with active or passive suction cup deformation. There are evaluated and summarized the basic advantages of the solution in the last section. The result of this work is the prototype element of passive suction cups on the platform with controlled degree of deformation through the active drive.

Klíčová slova: Robotika, pohon, pasivní přísavka, manipulace, servisní robot, podtlakové systémy, vakuum, deformační analýza

Key Words: Robotics, actuator, passive suction cup, manipulation, service robot, vacuum systems, vacuum, deformation analysis

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

<u>Označení</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Název</u>
C_{01}	[-]	Konstanta - Mooney-Rivlinův model
C_{10}	[-]	Konstanta - Mooney-Rivlinův model
d_w	[mm]	průměr přísavky
E	[Pa]	Youngův modul (modul pružnosti v tahu)
f_k	[-]	koeficient smykového tření
F_{AX}	[N]	axiální síla
F_B	[N]	přítlačná síla, beru to z toho seznamu
F_{RAD}	[N]	radiální síla
F_U	[N]	vnější síla
F_U	[N]	síla při centrickém uchopení
$F_{U\text{ teor}}$	[N]	teoretická úchopná síla
h	[mm]	tloušťka přísavky
H	[mm]	výška přísavky
k	[-]	koeficient bezpečnosti
k'	[-]	bezpečnost proti posunutí
k''	[-]	bezpečnost proti odtržení
K	[-]	objemový poměr
O	[-]	střed koule v počátku soustavy souřadnic
O_1	[-]	střed v kontaktní rovině přísavky s povrchem
p_a	[Pa]	atmosférický tlak
p_b	[Pa]	přítlak
p_n	[Pa]	normální tlak vzduchu
p_u	[Pa]	podtlak
p_0	[Pa]	normální atmosférický tlak
p_1	[Pa]	počáteční tlak
p_2	[Pa]	koncový tlak
P	[Pa]	tlak
Q	[l/min]	spotřeba tlakového vzduchu
r	[mm]	poloměr v kontaktní rovině přísavky
R	[mm]	poloměr koule (přísavky)

S	[m ³ /min]	sací výkon
$t(\Delta p_u)$	[s]	doba vakuování pro dosažení podtlaku Δp_u
T	[°C]	teplota
u_{max}	[-]	maximální deformace bodů na povrchu přísavky
$\underline{\nu}$	[-]	Poissonovo číslo
V	[m ³]	objem
V_0	[m ³]	původní objem
V_1	[m ³]	počáteční objem
V_2	[m ³]	konečný objem
ε	[-]	tuhost přísavky
μ	[-]	modul pružnosti ve smyku
η	[%]	účinnost ejektoru
λ	[-]	modul pružnosti v tahu
π	[-]	Ludolfovo číslo
ΔT_P	[N]	třecí síla
ΔF	[N]	přídavná síla
Δp	[Pa]	přídavný podtlak

OBSAH

1.	Úvod	7
1.1	Zaměření bakalářské práce a obecná specifika přísavek	8
1.2	Současný stav problematiky	9
1.2.1	Přísavka pro manipulaci se skleněnými deskami	10
1.2.2	Základní princip přísavky pro uchycení zařízení na skleněných plochách	11
1.2.3	Přísavka s možností využití rotačního pohonu k deformaci přísavky	12
1.2.4	Přísavka se zpětnou pružinou a adsorpčním povrchem	13
1.2.5	Přísavka se zpětnou pružinou a rovnoběžným spínačem k deformaci přísavky	14
1.2.6	Přísavka využívající válec s pístem	15
1.2.7	Přísavka s otočným mechanickým spínačem, vyvolávající deformaci přísavky	16
1.2.8	Speciální přísavka využívající tvarové paměti materiálu	17
1.2.9	Využití hydraulických a mechanických systémů z brzd jízdních kol	18
1.3	Cíle bakalářské práce	19
2.	Podtlakové úchopné systémy	20
2.1	Fyzikální podstata zdrojů vakua	20
2.2	Zařízení k vytvoření podtlakového vzduchu	22
2.2.1	Vývěvy	23
2.2.2	Dmychadla	25
2.2.3	Ejektory	25
2.3	Funkce aktivních a pasivních přísavek	27
2.3.1	Pasivní podtlakové úchopné hlavice	27
2.3.2	Deformační analýza pasivních přísavek	28
2.3.3	Aktivní podtlakové úchopné hlavice	30
2.4	Analýza silové rovnováhy přísavek	31
2.5	Koeficient bezpečnosti a jeho stanovení	33
3.	Koncepční návrhy a zpracování optimálního řešení přísavky a pohonu	34
3.1	Volba typu přísavky	35
3.1.1	Aktivní přísavka s integrovaným pohonem	36
3.1.2	Aktivní nedeformační přísavka	37
3.1.3	Pasivní deformační přísavka A	38
3.1.4	Pasivní deformační přísavka B	39

3.2	Možnosti připevnění přísavek na robota	40
3.3	Rozhodovací analýza pro volbu přísavky	41
3.4	Teoretické zjištění zdvihu pístu a deformace přísavky.....	43
3.4.1	Teoretické zjištění míry deformace a podtlaku pro hodnotu Youngova modulu $E=5\text{MPa}$	45
3.4.2	Teoretické zjištění míry deformace a podtlaku pro hodnotu Youngova modulu $E=10\text{MPa}$	46
3.4.3	Teoretické zjištění míry deformace a podtlaku pro hodnotu Youngova modulu $E=15\text{MPa}$	47
3.4.4	Teoretické zjištění míry deformace a podtlaku pro hodnotu Youngova modulu $E=20\text{MPa}$	48
3.5	Shrnutí pevnostní analýzy	49
3.6	Výběr pohonu a rozvodu síly.....	50
3.6.1	Lineární aktuátor Exlar a vedení Rollon - Mono Rail.....	50
3.6.2	Lineární pohon Linak LA23 a lineární vedení Rollon - Mono Rail	52
3.7	Rozhodovací analýza pro volbu pohonu.....	53
3.8	Výkresová dokumentace	55
4.	Závěr a zhodnocení využitelnosti	56
5.	Literatura.....	57

Předmluva



Koncové efektory, v našem případě tedy úchopné prvky průmyslových nebo servisních robotů, jsou zařízeními, která v podstatě řeší jednu z hlavních činností těchto strojů, a tím je vlastní realizace uchopení a následná manipulace s daným objektem, nebo například v případě robota-lezce vyvíjeného na katedře Sklářských strojů a robotiky (dále už jen KSR), kontakt mezi stěnou a robotem, který se po této stěně pohybuje.

V robotice jsou, nebo spíše byly, efektory často opomíjeným pojmem. Současnost je ovšem jiná a efektory díky různorodosti a obrovské škále využitelnosti také prodělaly složitý vývoj hlavně z konstrukčního hlediska. Tyto prvky se tedy využívají prakticky ve všech odvětvích a s podtlakovým nebo tlakovým principem realizace uchopení objektů se setkáváme v širokém spektru oborů strojírenských, lékařských, potravinářských, stavebních a jiných.

Efektory může uživatel pořídit různým způsobem – zakoupit u dodavatele robota, zakoupit u specializované firmy (PIAB, FESTO, PNEUMAX atd.), vyrábějící standardní typy efektorů (zejména pro objekty manipulace prizmatického nebo kruhového průřezu), nebo navrhnout a vyrobit vlastními silami, eventuálně zadat specializované firmě k vývoji. Tato bakalářská práce se konkrétně zabývá právě návrhem a využitím speciálního pohonu deformačních přísavek, u kterých se nedá regulovat pomocí podtlakového media úchopná síla, ale tuto činnost zajišťuje právě aktivní pohon, který deformaci pasivní přísavky řídí. Tyto přísavky se dají využít jak na úchopné hlavici robota během automatické manipulace, tak jako součást podvozků u servisních robotů [1].

Pokud servisní robot nebude odkázán na zdroj podtlakového media, výrazně se tím zlepší jeho pohyblivost a minimalizují se ztráty, ke kterým by docházelo při použití již zmíněného vzdáleného zdroje podtlakového media. Výsledkem by měl být koncept, který využije pasivních deformačních přísavek tam, kde se nehodí přísavky aktivní, nebo kde budou aktivní přísavky upraveny pro potřeby robota, uchopovaného objektu nebo úchopného prvku.

1. Úvod

Hlavními důvody pro rozšiřování a technologický vývoj automatizovaných zařízení, ve kterých se používají právě podtlakové úchopné hlavice, jsou dnes obrovské tlaky na výrobce a dodavatele. V dnešním zahlceném trhu je kromě ceny důležitým faktorem jakost a celkově perfektní zpracování výrobku, rychlost manipulace, minimální údržba, široký záběr využití jednoho zařízení i při úpravě výrobního cyklu a druhu výrobku, ekonomičnost a v dnešní době také důraz na ekologii. Právě proto se dnes ve velké míře zavádí průmyslové roboty a manipulátory.

Univerzálnost těchto robotů, díky které mohou vykonávat více technologických manipulačních operací, je dána především výstupními hlavicemi, kterými je robot vybaven. Mezi ně patří hlavice úchopné, technologické, kombinované nebo speciální, dále se podle charakteru styku s plochou dají rozdělit na podtlakové, mechanické, magnetické a dále dle vyvolané síly upnutí na pasivní a aktivní. Konkrétní popis jednotlivých typů je vysvětlen v publikaci Průmyslové roboty a manipulátory [1].



Obr. 1.0 Příklady praktického využití přísavek [2]

1.1 Zaměření bakalářské práce a obecná specifika přísavek

Jak již bylo uvedeno, tato práce se konkrétně zabývá speciálními pasivními podtlakovými hlavicemi, u kterých dochází k vyvození síly pro deformaci přísavky (za současného vzniku podtlaku) pomocí aktivního pohonu. Pasivní úchopné prvky, které jsou z praxe známy například z držáků automobilových navigací a dalších ručně ovládaných zařízení jsou konstrukčně velmi jednoduché a přitom funkční což je velkou výhodou. Nevýhodami jsou velké síly působící na přísavku, dále pak například následné uvolnění od objektu, které se většinou provádí vnějším zásahem. Obecně se tento problém dá řešit jednoduchými způsoby, a signál ovládající udržení podtlaku přísavky se dá zrušit nebo přivést pomocí pneumaticky či elektromagneticky ovládaného ventilu. Při takové změně signálu se vyrovná tlak uvnitř přísavky s okolím a dojde ke zrušení úchopné síly.

Deformační přísavky mohou pracovat jak v plynném, tak v kapalném prostředí. Nevýhodami při jejich navrhování je zakřivení a celková drsnost povrchu a s tím spojené netěsnosti, které právě u pasivních přísavek způsobují snižování podtlaku a následné snižování úchopné síly. Není-li zaručen dostatečně hladký povrch objektu, je možné použít jiná provedení s proměnným vnitřním objemem. V závislosti na velikosti proměnného objemu je možné udržovat podtlak i při určitých netěsnostech styku pryžové manžety s povrchem objektu [3]. Další technické milníky jsou již dány konkrétním specifickým řešením. Všechny výše uvedené poznatky byly shrnuty a použity k řešení tématu bakalářské práce k možnosti uplatnění deformačních přísavek hlavně v souvislosti se servisními roboty.



Obr. 1.1 Příklady přísavek duraflex [2]

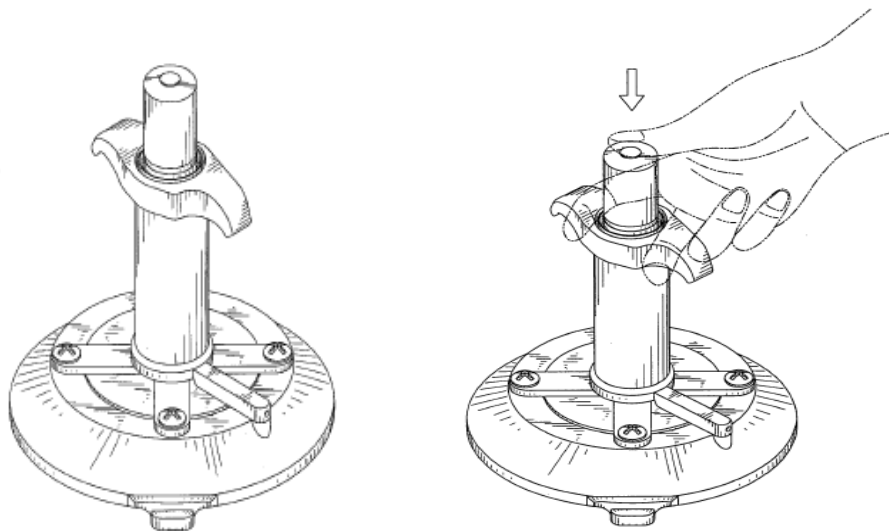
1.2 Současný stav problematiky

V řadě technických oborů se alternativně používají pasivní deformační přísavky pro dosažení úchopných sil bez nutnosti připojení aktivního zdroje vakua. V současnosti jsou velmi detailně popsány všechny typy přísavek, který byly uvedeny výše, jako jsou přísavky aktivní mechanické, magnetické atd., ovšem řešením aktivních pohonů u pasivních přísavek a pasivních přísavek jako takových, které mohou být prakticky velmi dobře využity, se výrobci v rámci sériové výroby hlouběji nezabývají. Stejně jako v našem případě se reálně jedná o individuální řešení problematiky na konkrétním zařízení, ale širší použití těchto zatím nestandardních prvků může být v určitých nejen speciálních podmínkách a situacích správným východiskem. Je patentováno několik způsobů řešení pasivních přísavek, ale jak již bylo řečeno, nejde o přísavky sériově vyráběné. Současný vývoj tohoto konkrétního řešení aktivního pohonu je tedy ve velmi raném stadiu a tato bakalářská práce by měla z teoretických i praktických poznatků pomoci v rozvoji tohoto tématu.

V této kapitole je uvedeno několik příkladů aktivních, ale hlavně pasivních přísavek, jsou jednoduše popsány jejich principy a možnosti použití v praxi. Jedná se většinou o patenty nebo koncepční projekty, které byly v některých případech zpracovány do stavu, kdy byl vyroben prototyp a ten byl dále testován, eventuálně byly tyto patenty a principy využity i v sériové výrobě.

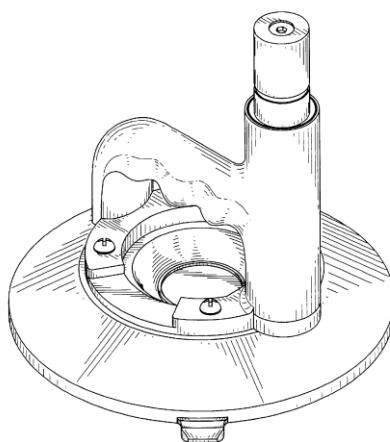
1.2.1 Přísavka pro manipulaci se skleněnými deskami

Tento způsob řešení mechanismu pro ruční manipulaci s tabulemi skla je prakticky hojně využíván. Celý mechanismus je velice jednoduchý a umožňuje jednoduše uchopit a přenášet tabule skla nebo jiné hladké rovinné desky. K vyvození podtlaku je třeba využít poměrně velké přitlačné síly, která je vytvořena člověkem, a je zde využita pouze deformace přísavky při jejím přitlačení na uchopovaný materiál. Ke zrušení signálu, neboli odvzdušnění přísavky, se používá mechanického ručního systému, kdy při stisknutí tlačítka nebo vytažení páky dojde k otevření odvzdušňovacího ventilu [4].



Obr. 1.2 Ruční deformační přísavka [4]

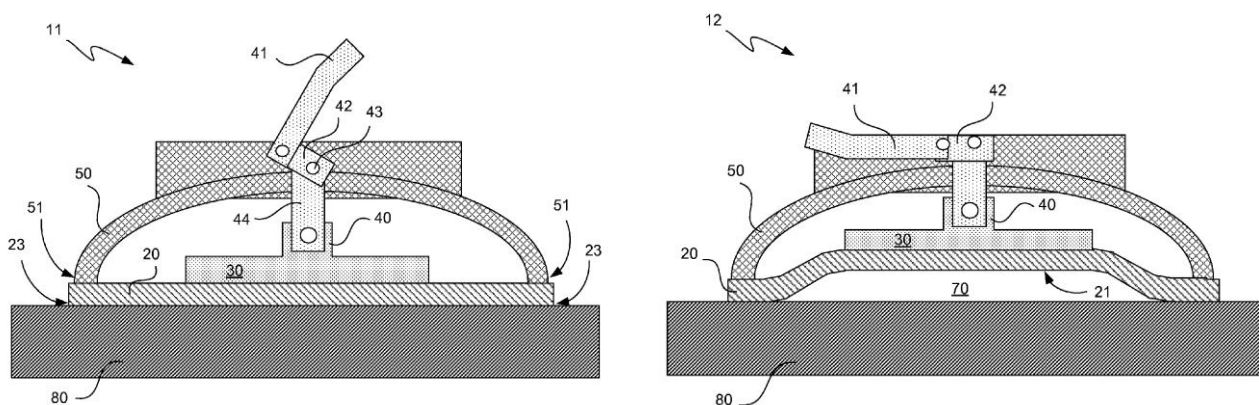
Další variantou tohoto řešení, která ovšem vychází z té předchozí, je využití ergonomického tvaru, který je k vidění v praxi [5].



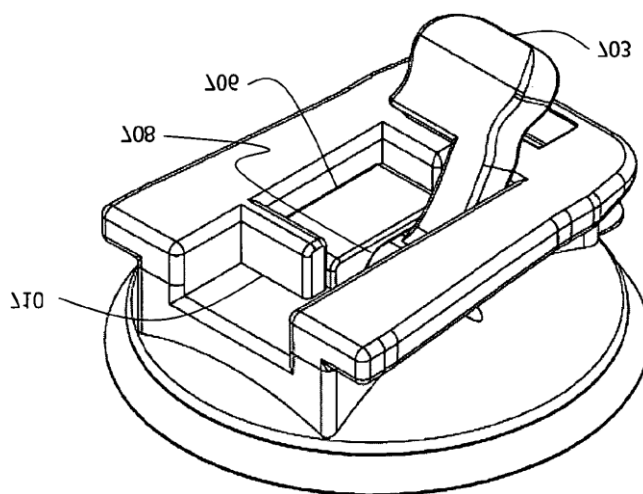
Obr. 1.3 Ruční deformační přísavka ergonomického tvaru [5]

1.2.2 Základní princip přísavky pro uchycení zařízení na skleněných plochách

Výhodou tohoto typu ručně ovládané deformační přísavky je, že se dá dobře využít u relativně hrubých povrchů a to navíc velmi snadným a rychlým způsobem. Celý systém (obr. 1.5) přísavky je složen z několika dílů, ze kterých by měl být vyzdvižen hlavně pružný těsnicí břit, který je vyroben z měkkého materiálu, díky čemuž daleko lépe těsní na drsném povrchu. Další důležitou součástí, bez které by nebylo dosaženo správného těsnicího efektu, je pevné tělo přísavky spojené s těsnícím břitem. Díky tomuto provedení je přísavka pevně přitisknuta na daný povrch. Při přestavení mechanismu do polohy, kdy je mezi přísavkou a podkladem podtlak, dochází k vytažení a deformaci přísavky (těsnicího břitu) uvnitř těla pevného mechanismu a následnému vytvoření podtlaku. Takováto přísavka se dá vyrobít v mnoha provedeních přizpůsobených pro připojení fotoaparátu, navigace, mobilního telefonu atd. například v automobilovém průmyslu, může obsahovat flexibilní těsnicí člen, robustní tělo pro uchycení zařízení a uvolňovací mechanismus [6]. Princip zařízení je znázorněn na obrázku 1.4.



Obr. 1.4 Princip přísavky pro uchycení zařízení na skleněných plochách [6]

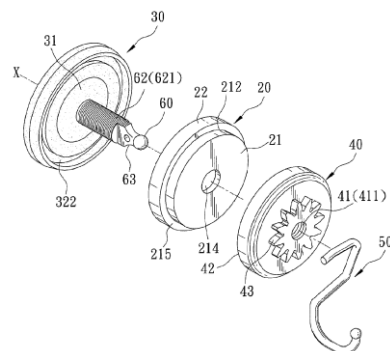


Obr. 1.5 Model přísavky pro uchycení zařízení na skleněných plochách [6]

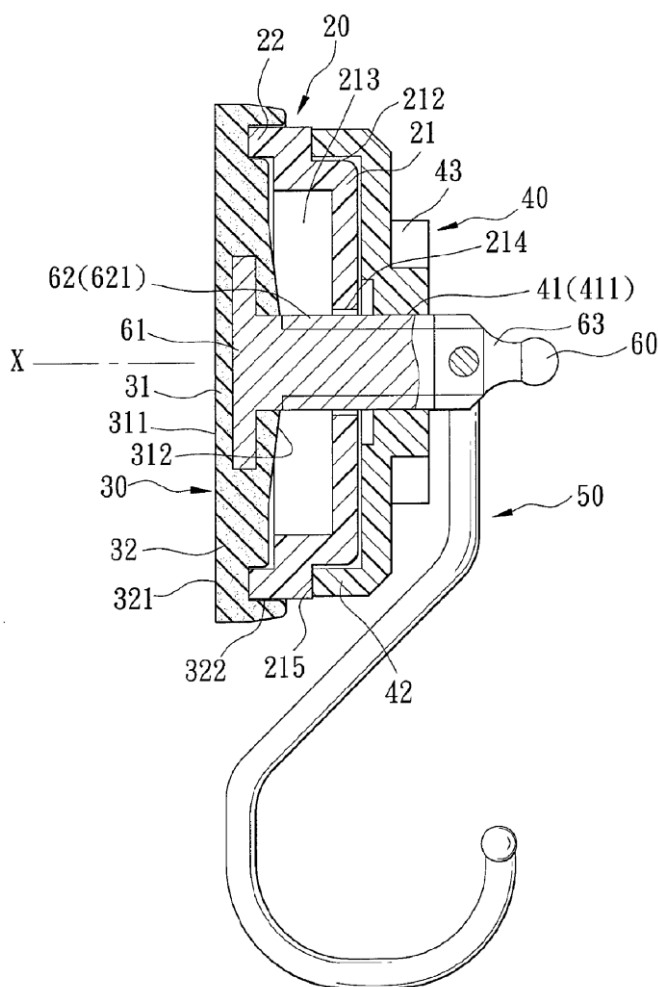
1.2.3 Přísavka s možností využití rotačního pohonu k deformaci přísavky

Jedná se o přísavku s ručním pohonem, který může ovšem být v praxi nahrazen servomotorem. Tento princip obsahuje zvedací tyč se závitem spojenou s deformační přísavkou, tělo přísavky a šroubovací víko s vnitřním závitem, umožňující vysunutí tyče. Tento konkrétní typ přísavek je primárně využíván pro rovinné plochy s nízkou drsností. Používá se na horizontálně orientovaných površích a její využití je primárně myšleno jako prvek pro uchycení zařízení nebo háčku pro zavěšení různých předmětů.

Při uvedení mechanismu do provozu podle obrázku 1.7 dojde otáčením šroubovacího víka podél hlavní osy přísavky a jeho zapřením o tělo zařízení k lineárnímu vysunutí tyče se závitem, následné deformaci přísavky a vytvoření podtlaku. Na přísavku může být upevněno zařízení nesoucí různé objekty dle potřeby zadání [7].



Obr. 1.6 Přísavka s rotačním pohonem



Obr. 1.7 Princip přísavky s možností využití rotačního pohonu k její deformaci [7]

1.2.4 Přísavka se zpětnou pružinou a adsorpčním povrchem

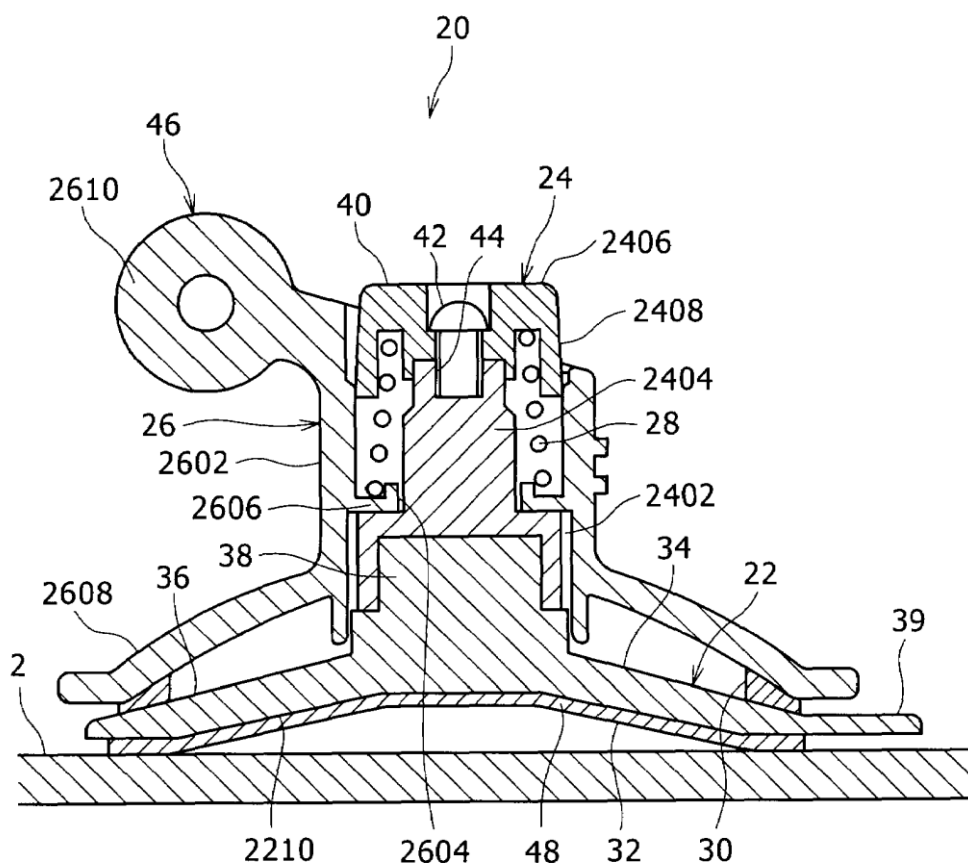
Jedná se o přísavku, která využívá adsorpčního povrchu při uchopování objektů. Skládá se z gelové vrstvy, která je v kontaktu s uchopovaným povrchem, deformační přísavky, těla přísavky a vedení přísavky opatřeného zpětnou pružinou, která po přitisknutí přísavky vytahuje pružinu, která se tím deformuje a vytváří podtlak. Gel je k deformační přísavce přilepen a samotná gelová vrstva je svojí kontaktní plochou menší než kontaktní plocha deformační přísavky. Adsorpční gel umožní jistější kontakt s manipulovaným objektem a díky této fyzikální reakci má přísavka mnohem větší účinnost [8].

Pro úplnosti je důležité zmínit samotnou podstatu jevu. Adsorpce je obecně separační proces, jehož principem je hromadění plynné látky ze směsi plynů nebo rozpuštěné látky v kapalině (adsorbátu) na povrchu pevné látky (adsorbentu) účinkem mezi povrchových přitažlivých sil.

Rozlišují se dva druhy adsorpce:

fyzikální adsorpce - vzniká na základě Van der Waalsových přitažlivých sil,

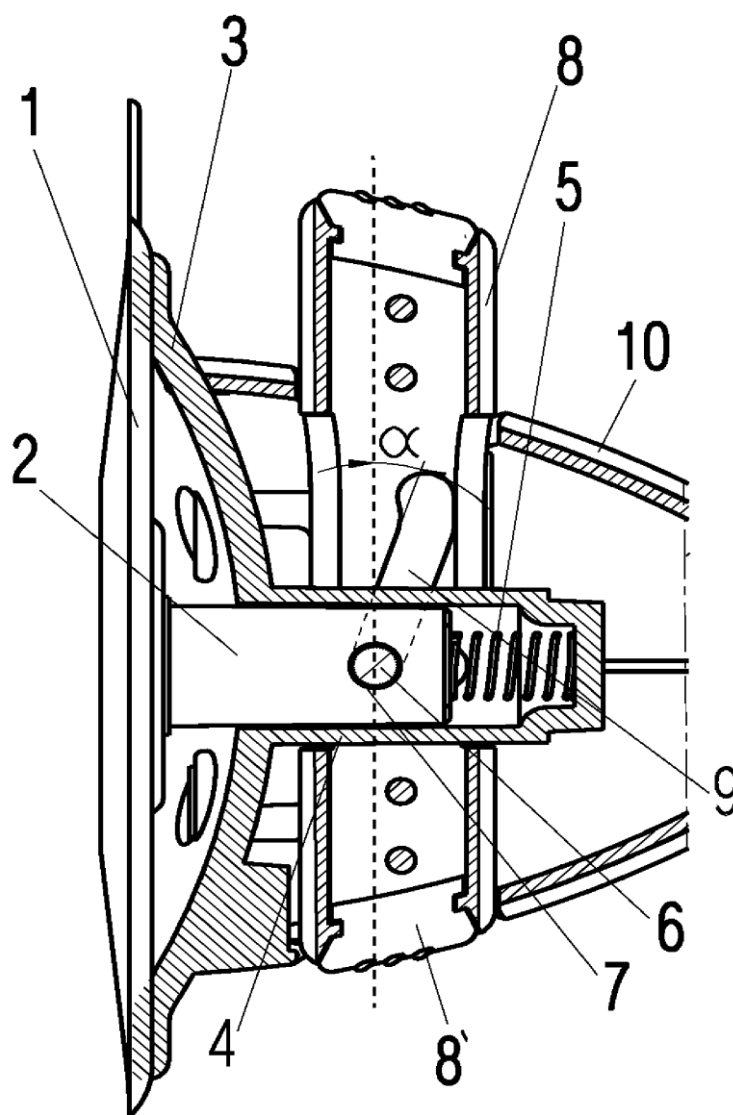
chemická adsorpce - je pevnější než fyzikální adsorpce a je tvořena chemickými vazbami.



Obr. 1.8 Princip přísavky se zpětnou pružinou a adsorpčním povrchem [8]

1.2.5 Přísavka se zpětnou pružinou a rovnoběžným spínačem k deformaci přísavky

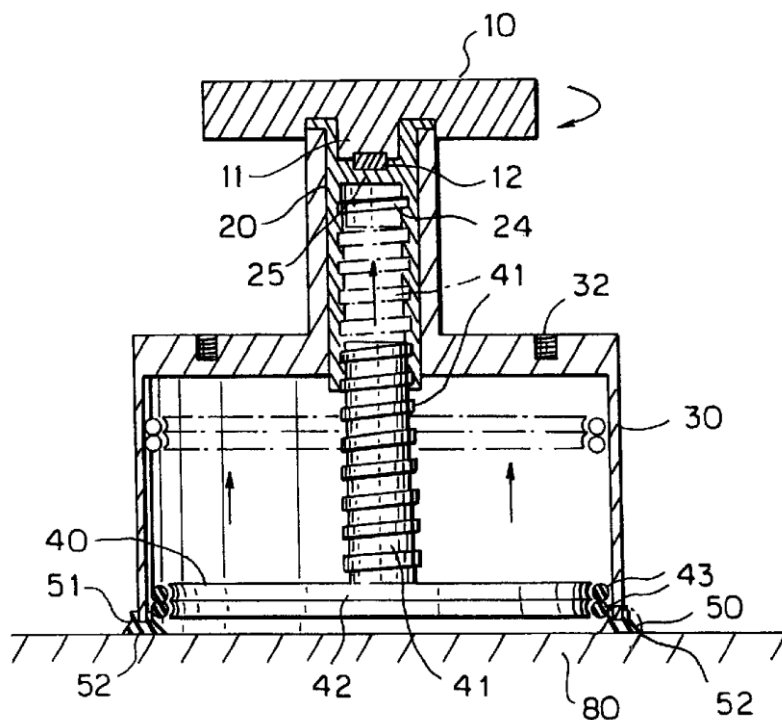
Hlavním využitím této přísavky je jako držák zařízení upevněných na předních sklech automobilů. Celý mechanismus by měl ulehčit a zjednodušit manipulaci s přísavkou a díky tomu by mělo být možné upevnit ji na povrch jednou rukou. Zařízení se skládá z deformační přísavky (1), pružiny (5), umožňující návrat přísavky do výchozí polohy, vedení přísavky (2) pohybující se lineárně v centrální ose přísavky a ve které je umístěn otvor pro čep (7), dále pak z posuvné části (8) s drážkou (9), která ve spojení s mechanismem vedení a čepem (6) umožňuje vysunutí přísavky a těla přísavky (10), ve kterém je celý mechanismus upevněn a skrytý [9]. Celý tento systém je názorně zobrazen na obrázku 1.9.



Obr. 1.9 Princip přísavky se zpětnou pružinou a rovnoběžným spínačem [9]

1.2.6 Přísavka využívající válec s pístem

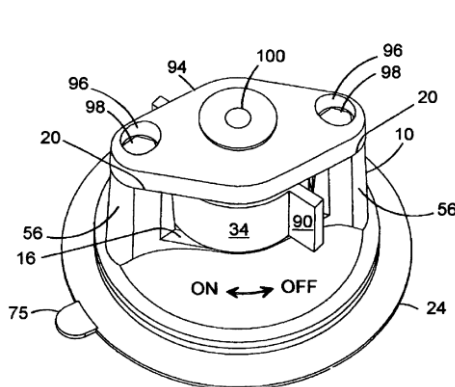
Účelem tohoto systému je využít dostatečně velké upevňovací síly k udržení přísavky a celého systému na povrchu, jako je například sklo automobilu nebo přímo na karoserii vozu pomocí podtlaku, který vytvoří válec s pístem. Zařízení se skládá z břitu přísavky, který je umístěn na válci a je zároveň spojen se samotným tělem přísavky, dále pak z pístu, pohybujícím se ve válci a který je řádně utěsněn, aby došlo při jeho vysunutí k vytvoření podtlaku. Další důležitou částí je vodící šroub s lichoběžníkovým závitem, spojený s manipulačním prvkem, při jehož otáčení dochází k vysunutí pístu a vytvoření podtlaku. Kombinace těchto zařízení umožňuje pevné ukotvení nákladu na automobil nebo jiné zařízení s povrchem, který je přípustný [10].



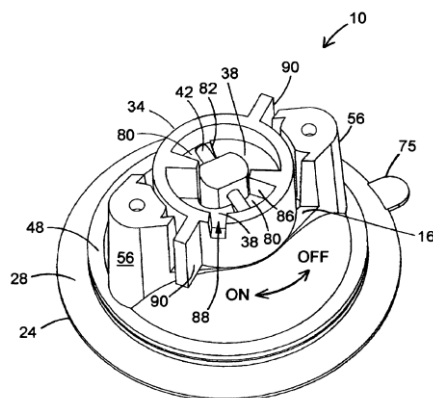
Obr. 1.10 Princip přísavky využívající válec s pístem [10]

1.2.7 Přísavka s otočným mechanickým spínačem, vyvolávající deformaci přísavky

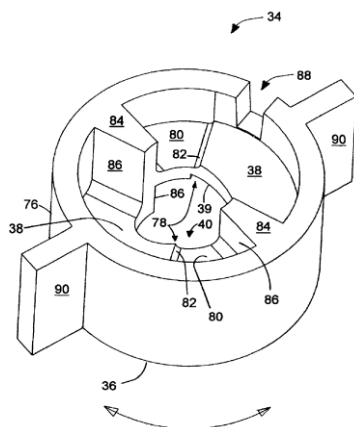
Tato přísavka slouží opět k jednoduchému připevnění na hladký povrch automobilových skel nebo přímo na přístrojovou desku. Mechanismus umožňuje ovládání přísavky pouze jednou rukou. Jedná se využití deformační přísavky z měkkého materiálu, který se dobře přizpůsobí povrchu, dále samotného těla přísavky, v němž je uložen hřídel spojený se středem deformační přísavky a v němž jsou otvory pro čepy, které v kombinaci s kruhovým dílem s pákami a drážkami umožňuje pohyb hřídele a tím deformaci přísavky [10]. Způsob činnosti jednotlivých částí je názorně vidět na obrázcích 1.11 a, b, c, d.



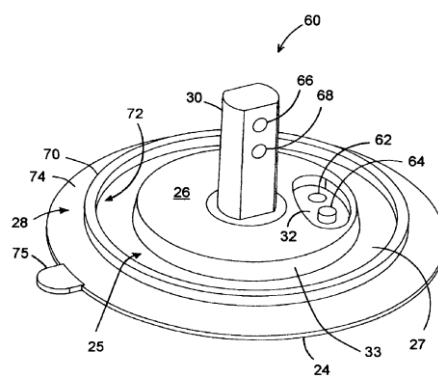
Obr. 1.11a Kompletní model přísavky [10]



Obr. 1.11b Pohled do vnitřní části přísavky [10]



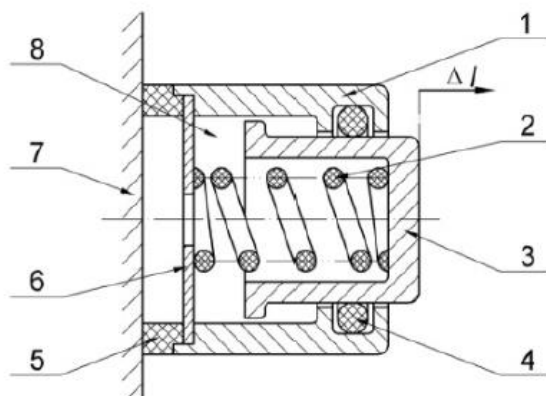
Obr. 1.11c Ovládací otočný díl přísavky [10]



Obr. 1.11d Deformační přísavka [10]

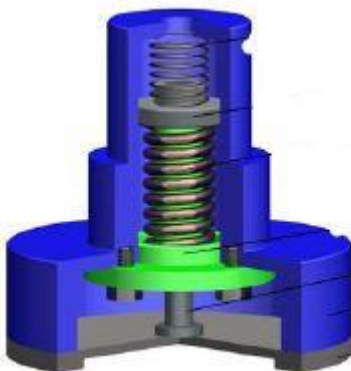
1.2.8 Speciální přísavka využívající tvarové paměti materiálu

Další variantou je typ přísavek využívající ke svojí funkci tvarové paměti materiálu (obr. 1.12 a 1.13). Při přivedení napětí do pružiny se díky svým materiálovým vlastnostem začne rozpínat a díky tomu vytlačuje píst, čímž vzniká v přísavce podtlak. Při zrušení signálu a bez napětí se vrací do původního tvaru. Tato přísavka má sice nevýhodu v menší účinnosti a menší ovládací frekvenci, ovšem má také nesporné výhody, mezi něž patří hlavně jednoduchost řešení, malé náklady, malé rozměry a hmotnost, nízká hlučnost a malá pracovní napětí. „Pohonem“ těchto pružin je tedy samotná pružina z materiálu s tvarovou pamětí [11].



Obr. 1.12 Deformační přísavka [11]

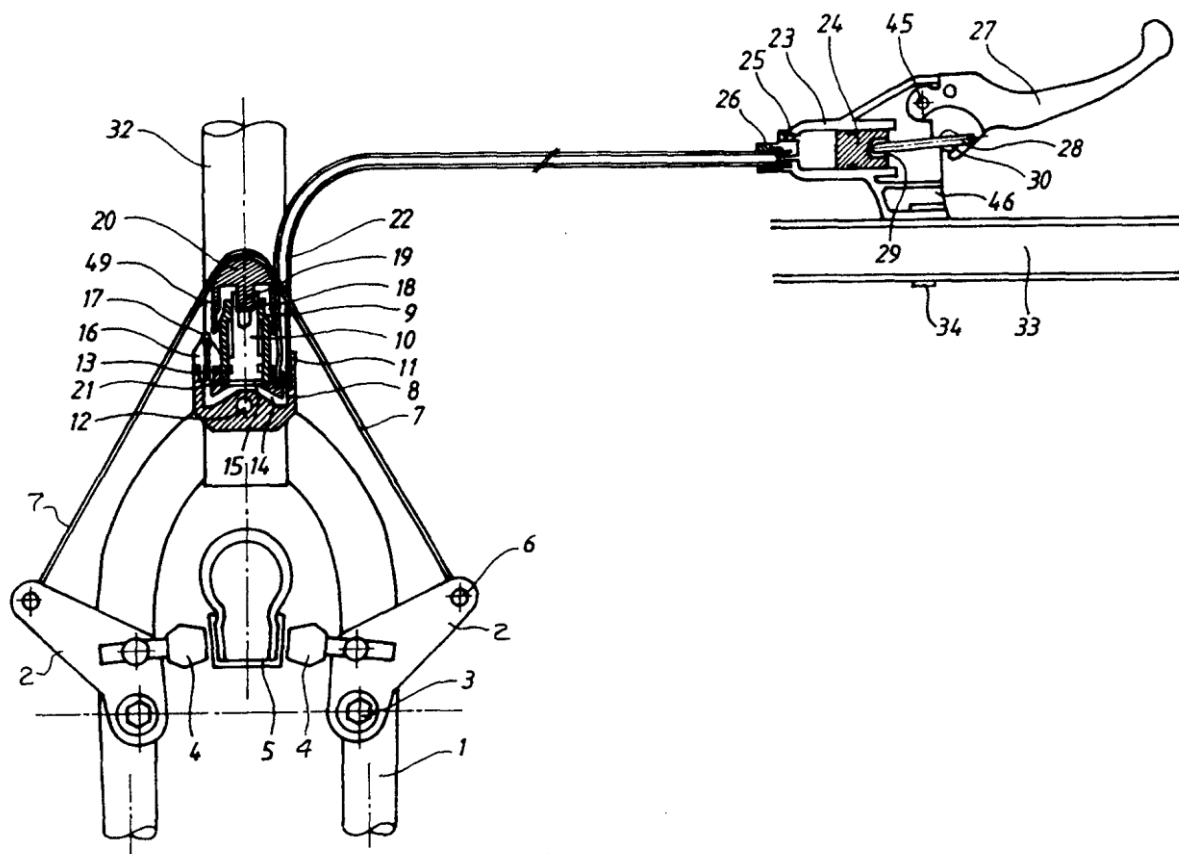
Pokud do pružiny (2) přichází proud, díky materiálovým vlastnostem této pružiny dochází k jejímu rozpínání, čímž se začne vysunovat vnitřní válec (3) ven z vnějšího válce (1), díky čemuž vzniká v oblasti kontaktu s plochou (8) podtlak. Ve chvíli kdy pružinou neprochází proud, začne se ochlazovat a díky rychlému odvodu tepla (hliníková slitina) se vrátí do původního stavu a tím se tlak opět vyrovná.



Obr. 1.13 Model prototypu přísavky s tvarovou pamětí pružiny [11]

1.2.9 Využití hydraulických a mechanických systémů z brzd jízdních kol

Tato bakalářská práce se z části zabývá hydraulickými a mechanickými brzdovými systémy, proto zde budou tyto systémy také z části popsány. Díky širokému použití hydraulických i mechanických brzd na všech typech jízdních kol se tato zařízení dají jednoduše využít. Základní fyzikální zákony a jednoduché principy se tak dají aplikovat na aktivní pohon, jenž bude pomocí hydraulické kapaliny nebo bowdenových lanek dodávat velký tlak a síly u koncových úchopných prvků, kterými budou v našem případě deformační přísavky. U hydraulických systémů je díky pístům a válcům tlak převeden na silový účinek v ose působení a deformuje tak přísavku, která vytváří podtlak [12]. Na působení Pascalova zákona založený princip zařízení je znázorněn na obrázku 1.14.



Obr. 1.14 Hydraulický brzdový systém jízdních kol [12]

V tomto případě se jedná o využití pákové mechanismu, jednoduchého válce s pístem a rozvodů pomocí hadic. Hydraulická kapalina a tlak jsou dovedeny na místo využití. V případě na obrázku 1.14 se konkrétně jedná o brzdící systém kola, kterým je brzda typu V, eventuálně kotoučová nebo jiná. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, složitější instalace a problém se zavzdušněním systému a údržbou. V případě využití bowdenových lanek je situace jiná, protože k přenosu síly

dochází mechanicky pomocí lanka a nejsou třeba převodníky energie, kde se tlak kapaliny převádí na silový účinek.

Bowdenův kabel na obrázku 1.15 se skládá z pružného obalu, uvnitř něhož se pohybuje pevné jádro. Obal obvykle bývá vyroben z ocelové spirály kryté z venku bužírkou, uvnitř je pak ocelové lanko nebo ocelový drát. Obvykle se tímto kabelem přenáší posuvný pohyb, na krátké vzdálenosti jím lze přenášet i pohyb rotační [13].



Obr. 1.15 Řez bowdenovým lankem [13]

1.3 Cíle bakalářské práce

Jak již vyplývá z předchozích odstavců, cílem této práce je návrh a budoucí realizace aktivního pohonu, který bude realizovat vznik úchopné síly a prototyp aktivní nebo pasivní podtlakové úchopné hlavice - přísavky. Toto řešení bude možné aplikovat v úchopných hlavicích během automatické manipulace s plochými objekty nebo v technice podvozků servisních robotů. Cílem bakalářské práce je tedy konstrukce prototypu úchopného prvku na platformě pasivních přísavek s řízenou mírou deformace prostřednictvím aktivního pohonu.



Obr. 1.16 Pasivní přísavka k manipulaci se skleněnými tabulemi [17]

2. Podtlakové úchopné systémy

V dnešní době se prakticky ve všech oblastech průmyslu setkáváme s požadavkem přemísťování nebo manipulace s často těžkými a špatně uchopitelnými předměty. Ve sklářském průmyslu se jedná nejčastěji o tělesa s hladkým povrchem, jako jsou skleněné tabule, ovšem podtlakové úchopné systémy mohou pracovat i s drobnými SMD součástkami, ocelovými tabulemi atd. Právě v těchto případech se ideálně hodí využít účinků vakua pomocí podtlakových úchopných hlavic. Také je možno využít vlastností vakua pro uchopení předmětů, u kterých by při jiném způsobu uchopení mohlo dojít k poškození jejich povrchu. Využívá se především při manipulaci s díly, které mají pevnou a neprodyšnou strukturu, hladký povrch plochy pro styk s přísavkou, rozměry a hmotnost odpovídající možnostem využití vakua.

Úchopná síla je v našem případě vyvozena podtlakem v přísavce, tedy v pryžovém úchopném prvku. Ty jsou zejména ve strojírenství koncovým prvkem robotických manipulátorů a servisních robotů. Jsou často vybaveny větším množstvím pryžových podtlakových přísavek, které se dle potřeby dají ovládat pomocí vodících šroubů a krokových motorů. Jak již bylo zmíněno v přechozí kapitole, mohou tyto přísavky být aktivní nebo pasivní. Pasivní, kterými se tato práce bude převážně zabývat, vyvozují úchopnou sílu přitlačením uchopovacího prvku na povrch manipulovatelného předmětu nebo může docházet k jejich částečné deformaci pomocí aktivního pohonu.

2.1 Fyzikální podstata zdrojů vakua

První veřejnou prezentaci využití vakua uskutečnil již v roce 1654 německý fyzik Otto von Guericke (1602 - 1682). V té době vzbudily největší ohlas jeho tzv. *magdeburské pokusy*. Spojil dvě duté měděné polokoule s úchyty a odčerpál z nich vzduch. Osm párů koní je nedokázalo od sebe odtrhnout. Když však vpustil dovnitř kohoutem vzduch, koule se oddělily bez použití síly. Právě na tomto principu, demonstrovaném již v 17. století, pracuje v současné době většina aplikací vakua v automatizační technice. Energie okolního tlaku vzduchu je zde využívána k vytvoření síly potřebné pro manipulaci s různými předměty nebo materiálem pomocí přísavek [14].

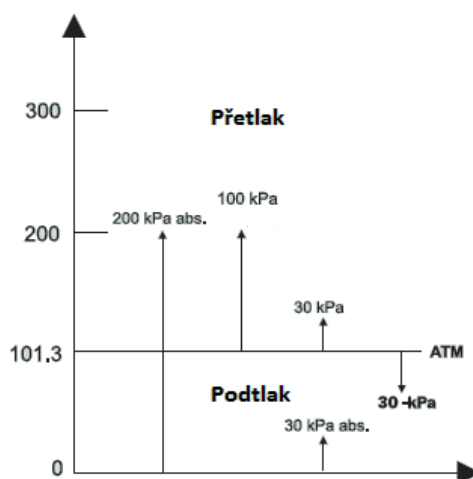


Obr. 2.1 Magdeburské polokoule [14]



Obr. 2.2
Manometr
k měření tlaku
[17]

Základními pojmy této problematiky jsou atmosférický tlak, podtlak, přetlak atd. Atmosféra neboli směs plynů, kterou je obklopena naše zeměkoule, má několik základních vlastností, z nichž nejpodstatnější je hodnota atmosférického tlaku. Atmosférický tlak dosahuje nejvyšších hodnot při hladině moře (popř. zemském povrchu) a s rostoucí výškou klesá. Barometrický tlak není stálý, ale kolísá na určitém místě zemského povrchu kolem určité hodnoty. Tlak menší než barometrický tlak se nazývá podtlak, tlak větší než barometrický tlak se nazývá přetlak. Prostor s takřka nulovým tlakem se nazývá vakuum. Tlak vzduchu je závislý na nadmořské výšce, na velikosti tíhového zrychlení, na mocnosti, teplotě a hustotě atmosféry v daném místě. Z důvodu snazšího porovnávání výsledků různých měření barometrického tlaku byl zaveden tzv. normální tlak vzduchu (normální atmosférický tlak) p_n (též p_0), který je definován jako přibližně průměrná hodnota tlaku vzduchu při mořské hladině na 45° s.š. při teplotě 15 °C a tíhovém zrychlení $g_n = 9,80665 \text{ ms}^{-2}$. Jeho hodnota je rovna 101 325 Pa. Velikost podtlaku, používaného při manipulaci s předměty, se většinou vyjadřuje v jednotkách kilopascal, milibar nebo procentuálně z hodnoty vakua [15]. Porovnání tlaků je na obrázku 2.3.



Obr. 2.3 Porovnání druhů tlaků

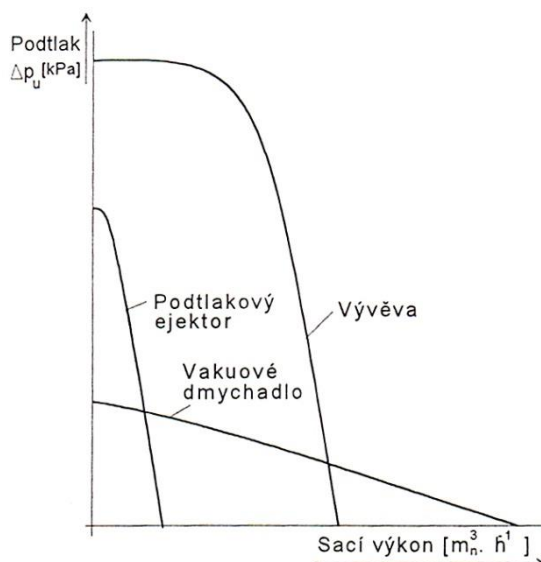
Příkladem běžného využití podtlaku může být obyčejné vysávání prachu, při kterém dochází k odsávání vzduchu a díky tomu je vytvořen prostor s tlakem nižším, než je v jeho okolí. Díky tomu, že vytvoříme podtlak, je okolní vzduch natlačen dovnitř vysavače společně s prachem.

Pro úplnost je třeba dodat, jak se na vakuum dívá teoretická fyzika. Používá pojem dokonalé vakuum, což je stav systému s nejnižší možnou energií. V ideálním případě označuje vakuum takový fyzikální stav, v němž není přítomná žádná částice, a to jak hmoty (např. elektrony, protony apod.), tak ani záření (např. fotony).

2.2 Zařízení k vytvoření podtlakového vzduchu

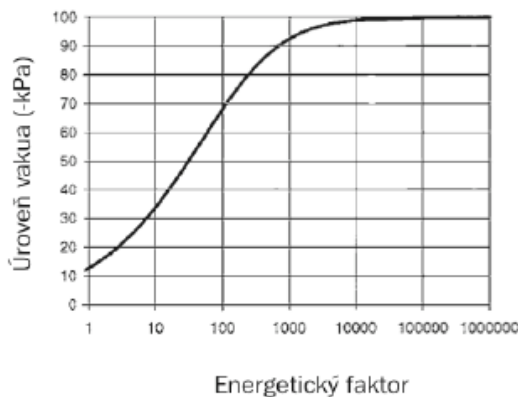
K umělému vytvoření podtlaku (vakua), kterého se docílí odčerpáním vzduchu z určitého prostoru, se standardně dosahuje pomocí aktivních prvků. Zdroj vakua může být buď externí, v tom případě je pneumatický obvod připojen k centrálnímu zdroji, nebo lokální, kdy je vakuum vytvářeno zařízením v blízkosti jeho spotřeby. Pro volbu typu zdroje vakua jsou nejdůležitějšími faktory velikost podtlaku a na něm závislý sací výkon. Podle těchto a dalších specifických kritérií lze volit *vývěvy, dmychadla a ejektory* [16].

U všech jmenovaných zdrojů vakua platí, že každý má svá pozitiva a negativa, která jsou dána jejich specifickým využitím. Obecně nejméně efektivním případem je požadavek vysokého sacího výkonu při vysoké míře vakua, což je spojeno s velkou mírou spotřeby energie a vysokými provozními náklady. Základní charakteristiky zdrojů vakua jsou uvedeny na obrázku 2.4.



Obr. 2.4 Porovnání charakteristik zdrojů vakua [16]

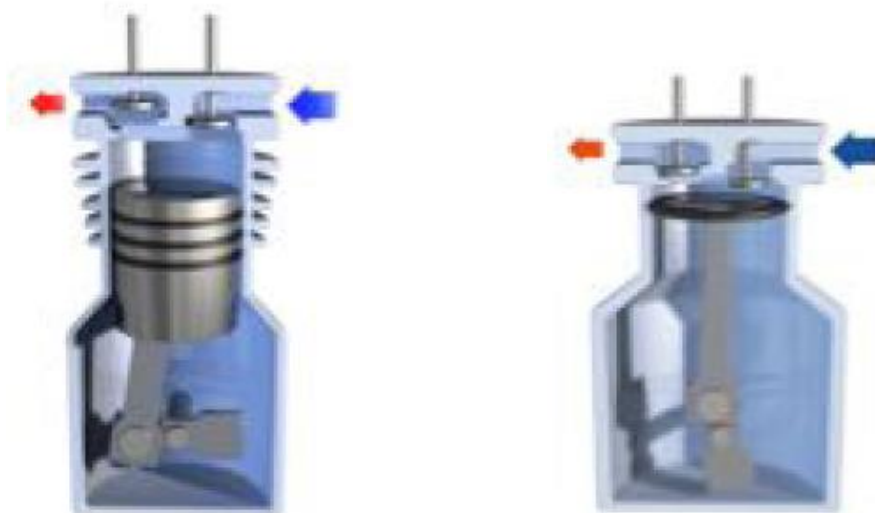
Důležité je také neopomenout energetickou náročnost při rostoucí úrovni vakua. Graf na obr. 2.5 znázorňuje spotřebu energie v závislosti na úrovni vakua. Vyplývá z něho, že při úrovni nad -90 kPa vzrůstá spotřeba energie velmi prudce. Proto by měla být úroveň vakua pokud možno udržována pod touto hranicí [17].



Obr. 2.5 Závislost spotřeby energie na velikosti vakua [17]

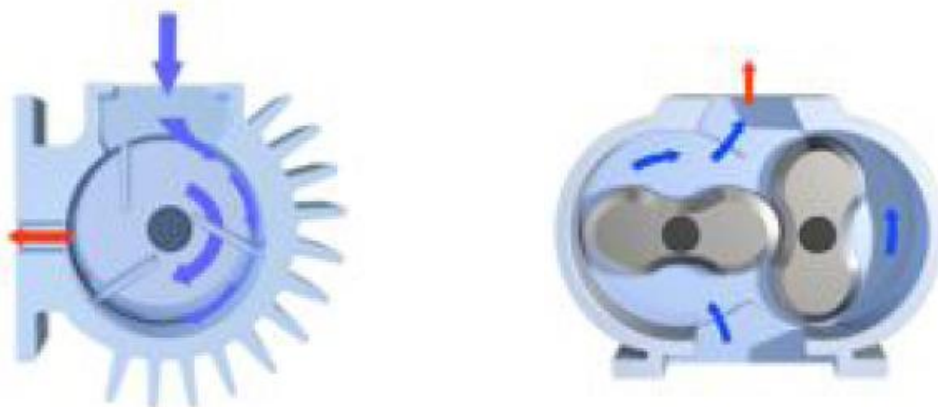
2.2.1 Vývěvy

Typickým znakem všech mechanických vývěv je, že určitým způsobem přepravují dané množství vzduchu ze sací strany (vakuová strana) k výfukové straně, a tím vyrábějí podtlak. Mechanické vývěvy jsou ve většině případů poháněny elektromotory a funkčně pracují obdobně jako kompresory. Prostor, ve kterém má vzniknout podtlak, je připojen na stranu sání vývěvy. Určitý objem vzduchu je z tohoto prostoru odsáván a na straně výfuku vývěvy vypouštěn do atmosféry. Tlak vzduchu se v daném prostoru sníží pod hodnotu atmosférického tlaku a vznikne vakuum. Umožňují dosahovat poměrně vysokého podtlaku při malém objemovém průtoku, tj. při nepatrném sacím výkonu. Jsou zvláště výhodné tam, kde je nutné vytvářet podtlak v těsně uzavřeném prostoru s minimálními tlakovými ztrátami. Na druhé straně nevýhodou všech mechanických vývěv je, že obsahují pohyblivé, opotřebovávající se prvky. Uplatnění najdou při manipulaci s velkoformátovými plochými objekty, kde je vyžadována relativně dlouhá doba manipulačního cyklu a držení objektu. Mezi nejčastěji používané patří vývěvy pístové, membránové, lopatkové a rotační.



OBR. 2.6 Příklady mechanických vývěv – zleva pístová a membránová vývěva [18]

Mezi hlavní výhody hojně využívané pístové vývěvy (obrázek 2.6) patří nízké pořizovací náklady. Hlavními nevýhodami těchto vývěv je pak vysoké zahřívání a nutnost časté údržby. Membránové vývěvy mají obdobně jako pístové nižší pořizovací náklady, kompaktní rozměry a menší množství pohyblivých dílů. Hlavní nevýhodou je pak malé nasávané množství vzduchu.



OBR. 2.7 Příklady mechanických vývěv – zleva lopatková a rotační vývěva [18]

U lopatkové a rotační vývěvy (obrázek 2.7) se v praxi uplatňuje velký průtok. Tyto vývěvy mají ale vysoké pořizovací náklady a značné zahřívání. Lopatková vývěva má navíc výhodu ve vytvoření vysokého vakua, ovšem je náročná na údržbu a velmi citlivá na nečistoty na rozdíl od vývěvy rotační, která sice netrpí citlivostí na nečistoty a není nutná tak častá údržba, ale je na druhou stranu hlučná a nedokáže vytvořit vysoké vakuum [18].

2.2.2 Dmychadla

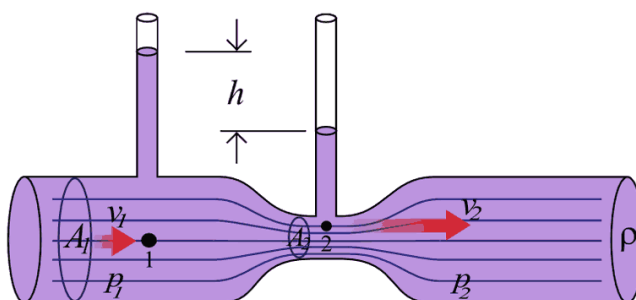
Dmychadla nacházejí uplatnění tam, kde je potřeba odvést co nejrychleji velké množství vzduchu. To ovšem na úkor velikosti vakua (velký průtok znamená menší maximální vakuum). Nízká míra vakua (-0,01 až -0,03 MPa) je tedy při velkých sacích výkonech (50 až $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Mohou se efektivně aplikovat tam, kde jsou vakuovány velké nebo špatně utěsněné prostory s velkými ztrátami podtlaku a s požadavkem rychlé reakce. S výhodou se mohou uplatnit při manipulaci s pórovitými materiály (např. stavebními hmotami) a prodyšnými manipulačními jednotkami (např. pytli, krabicemi, přepravkami). Mezi typické příklady dmychadel patří dmychadlo s postranním kanálem nebo odstředivé dmychadlo [18].



OBR. 2.8 Příklady dmychadel – zleva dmychadlo s postranním kanálem a odstředivé dmychadlo [18]

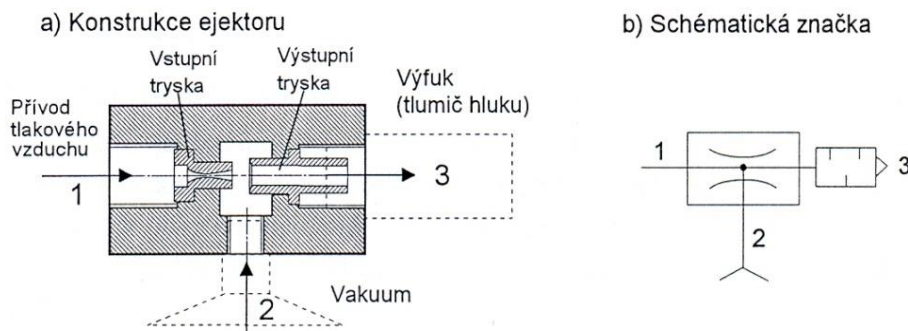
2.2.3 Ejektory

Funkce ejektoru je založená na změně rychlosti proudění vzduchu a následném vytvoření podtlaku díky principu Venturiho trubice, kde se v zúžení trubice (Průřez A_2) zvýší rychlost vzduchu v_2 a tím sníží tlak p_2 . Celý princip je znázorněn na obrázku 2.9, kde je názorně vidět výsledek tohoto jevu, čímž je změna hladiny h v důsledku podtlaku. Výhodou je jejich jednoduchost, minimální hmotnost a možnost snadného přivedení tlakového vzduchu.



OBR. 2.9 Princip vytvoření podtlaku pomocí Venturiho trubice [18]

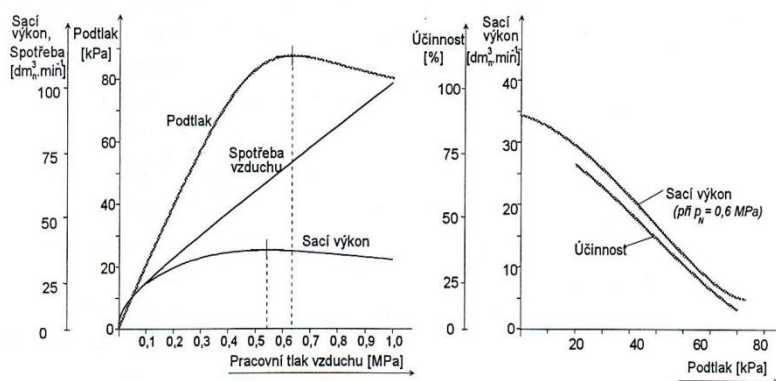
V praxi dle obrázku 2.10 tlakový vzduch proudí vstupní tryskou (Venturiho dýza) a jeho rychlost se zvyšuje a na výstupu dosahuje nadzvukové rychlosti. Tento vzduch následně expanduje a proudí výstupní tryskou většího průměru a vystupuje do ovzduší přes tlumič hluku. Volný paprsek vzduchu v mezeře mezi oběma tryskami strhává s sebou klidný vzduch, předává mu část kinetické energie a tak vzniká v tomto prostoru podtlak, který umožňuje nasávání vzduchu z podtlakové komory.



Obr. 2.10 Princip ejektoru [16]

Ejektory jsou určeny pro relativně malý objemový průtok při možnosti dosažení až 85% vakua. Často se tedy aplikují v případech automatické manipulace pomocí manipulátorů.

Při výběru a dimenzování je třeba znát základní charakteristiky ejektorů, které jsou zobrazeny na obrázku 2.11. Z grafu je patrné, že při zvyšování hodnoty tlaku stlačeného vzduchu se logicky zvyšuje dosažená hodnota podtlaku, ale nejvyšší hodnoty dosahuje při pracovním tlaku 0,6 MPa. Při překročení této hodnoty zůstává podtlak na zhruba stejné úrovni, eventuálně se snižuje. Spotřeba vzduchu přitom s pracovním tlakem lineárně roste. Křivka sacího výkonu je funkcí s maximem při pracovním tlaku zhruba 0,5 MPa. Při překročení této hodnoty sací výkon klesá a následně se zvyšuje spotřeba a snižuje účinnost ejektoru [16].



Obr. 2.11 Charakteristiky ejektoru [16]

2.3 Funkce aktivních a pasivních přísavek

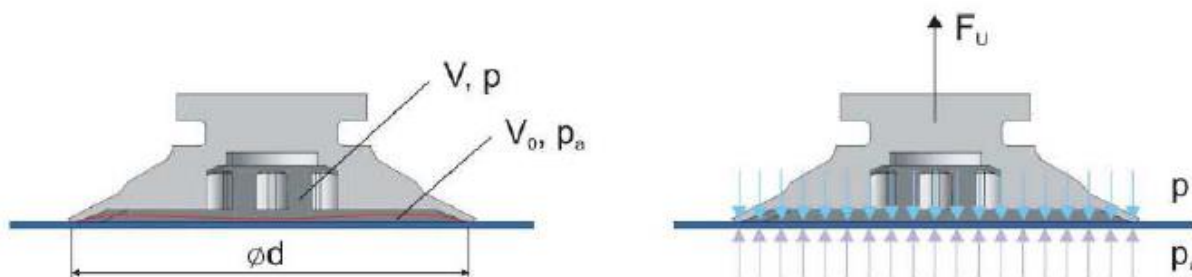
Podtlakové úchopné hlavice se podle způsobu vyvozování úchopné síly dělí na hlavice aktivní a pasivní. Pokud je ke snížení atmosférického tlaku (vytvoření vakua) nutné použít vývěvy, dmychadla nebo ejektory, jedná se o aktivní úchopné prvky. V ostatních případech, kdy je podtlak realizován změnou objemu nebo není použito aktivních tlakových prvků, se jedná o pasivní úchopné prvky, kam řadíme pružné deformační přísavky.

2.3.1 Pasivní podtlakové úchopné hlavice

Pasivní podtlakové hlavice vyvozují úchopnou sílu postupným přitlačováním přísavky k objektu, dokud nedojde ke kontaktu přísavky s objektem, deformaci přísavky vlivem dalšího působení síly a následnému vytlačení určeného množství vzduchu, kdy se současně zmenšuje původní objem přísavky na hodnotu současnou.

U podtlakových hlavic nastává problém s uvolněním přepravovaného předmětu. Tento problém se většinou řeší vyvozením odtrhovací síly přímo robotem nebo pomocí mechanických prvků jako jsou narážky a dorazy a zabudováním vyhazovacím mechanismem přímo na konstrukci koncového efektoru. Ten se řídí vstupním impulsem.

K vytvoření tohoto podtlaku se používají pružné deformační přísavky v kombinaci s pohybem ramen příslušných robotů. Následným zpětným pohybem ramene robota se deformační přísavka vlivem pružnosti materiálu, ze které je vyrobena, vrací do mezipolohy. Vnitřní prostor přísavky se zpětně do určité míry zvětší právě díky pružnosti materiálu a stlačitelnosti plynů (vzduchu). Při tomto procesu se tedy zmenší vnitřní objem pod přísavkou z původního objemu V_0 na konečnou hodnotu objemu V . Současně dochází ke změně tlaku původního atmosférického tlaku p_a na hodnotu p . Princip a funkce deformační přísavky je naznačen na obrázku 2.13. Pokud je potřeba větší úchopné síly, používají se přísavky tužší. Větší tuhost přísavky vyžaduje větší přitlačnou sílu pro její deformaci, tím vzrůstá i nebezpečí poškození uchopovaných objektů.



Obr. 2.13 Deformační přísavka [19]

Za předpokladu, že celý proces probíhá za konstantní teploty, platí:

$$p_a * V_0 = p * V \Rightarrow p = p_a * \frac{V_0}{V}$$

Za podmínky, že nedochází ke změnám průměru přísavky, je možné ze silové rovnováhy na objektu stanovit úchopnou sílu takto:

$$F_U = \varepsilon * F_{U_{teor}} = \frac{\pi * d^2}{4} * (p_a - p) * \varepsilon = \frac{\pi * d^2}{4} * \left(1 - \frac{V_0}{V}\right) * p_a * \varepsilon = \frac{\pi * d^2}{4} * (1 - K) * p_a * \varepsilon$$

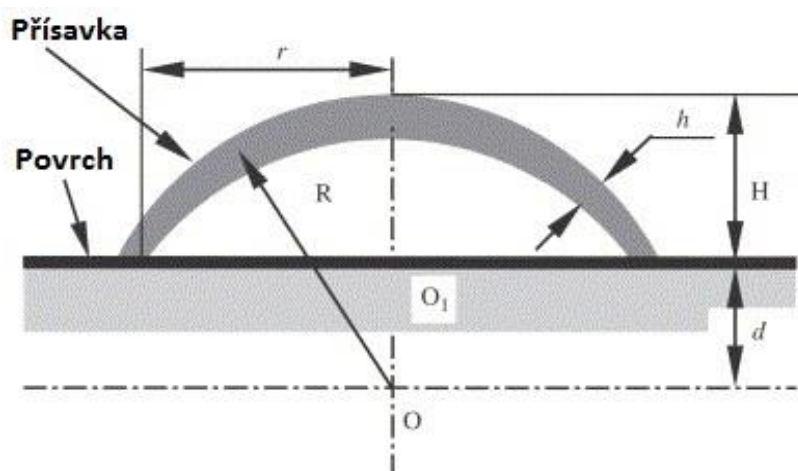
Kde ε je korekce na tuhost přísavky, která se zavádí z důvodu reálných poměrů, kdy v okamžiku přitlačení přísavky na objekt je v uzavíraném objemu tlak menší než atmosférický. Korekce na tuhost ε nabývá hodnot v intervalu od 0,6 do 0,8. K je objemový poměr, který pro běžné přísavky nabývá hodnot od 0,2 do 0,5.

U pasivních přísavek se volí poměrně vysoké koeficienty bezpečnosti $k = 4-6$, protože při těchto podmínkách jsou úchopné síly ovlivněny kvalitou povrchu, vlastnostmi materiálů přísavky a drsností povrchu a závisí také na době držení, které souvisejí s netěsnostmi uzavřeného objemu mezi přísavkou a objektem [19].

2.3.2 Deformační analýza pasivních přísavek

Pro přesnější zjištění teoretické hodnoty tlaku pasivních deformačních přísavek, nutnému k udržení přísavky s robotem, můžeme využít výpočtů z metody analytického modelování (*Department of Functional Machinery and Mechanics, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, Japan*) [20]. Tato metoda využívá nového analytického modelování přísavek pro použití při manipulaci se sklem pomocí pasivních přísavek, využitelnou také speciálně u robotů na čištění oken (kde je navíc dotyková plocha mokrá a tření nízké). Základní myšlenkou těchto výpočtů je, že aktivní plocha přísavky se bude zmenšovat s tlakem uvnitř přísavky. Tato metoda využívá znalostí pružnosti materiálu přísavky. Výsledky ukázaly, že sací síla by měla být vypočtena pomocí tlaku vzduchu v aktivní oblasti přísavky na rozdíl od běžně používané metody, která počítá s tlakem ve spodní části přísavky. Dále bylo zjištěno, že třecí síla se snižuje na základě snižování tlaku. Díky těmto výpočtům byla stanovena přesnější hodnota sil, které se dají lépe využít například u robotů „lezců“.

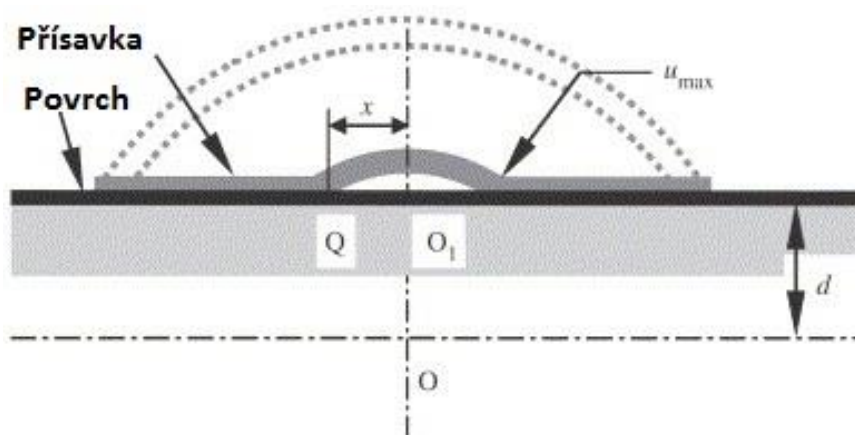
Pro lepší pochopení a vyjádření teoretických výpočtů poslouží obrázek 2.14, na kterém je zjednodušeně znázorněna elastická přísavka.



Obr. 2.14 Zjednodušený model pasivní přísavky [20]

- O..... Střed koule v počátku soustavy souřadnic
- O_1 Střed v kontaktní rovině přísavky s povrchem
- R..... Poloměr koule
- r Poloměr v kontaktní rovině přísavky
- H..... Výška přísavky
- h Tloušťka přísavky

Skutečný tvar pasivní deformační přísavky se mění se změnami tlaku. Jak je názorně vidět na obrázku 2.15, při snižujícím se tlaku pod přísavkou mění i přísavka svůj tvar a body ležící na přísavce se přibližují k povrchu, na kterém se zastaví.



Obr. 2.15 Model deformované přísavky [20]

Při tomto pohledu na danou situaci se pro výpočet tlaku p v aktivní oblasti využije vztah:

$$p = -\frac{2Eh}{R^2(1-\nu)} \left(R - \sqrt{d^2 + \frac{s}{\pi}} \right).$$

Kde E je Youngův modul, h je tloušťka přísavky, R poloměr přísavky a ν Poissonovo číslo.

Pro výpočet modulů pružnosti μ a λ platí vztahy:

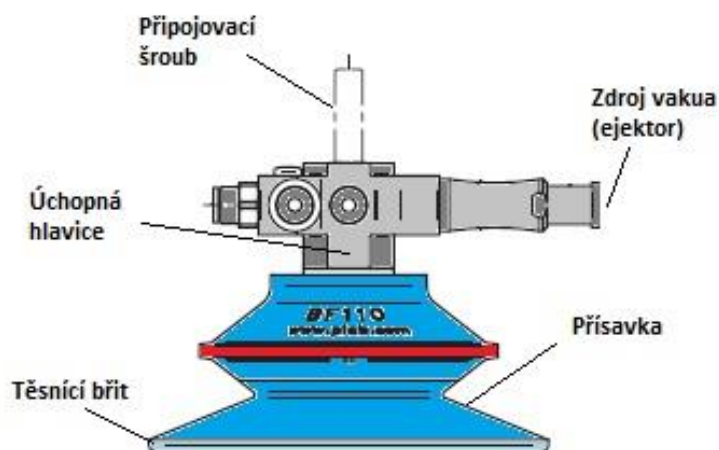
$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}.$$

Pro výpočet maximální deformace bodů na povrch přísavky u_{\max} použijeme vztah:

$$u_{\max} = -(R - \sqrt{d^2 + x^2}).$$

2.3.3 Aktivní podtlakové úchopné hlavice

Na rozdíl od pasivních podtlakových úchopných hlavice dochází u aktivních k vytvoření vakua pomocí vnějšího zdroje tlakového (podtlakového) vzduchu. Uchopovacím prvkem je přísavka, která má převážně talířový tvar a opět umožňuje přizpůsobit se uchopovanému povrchu a utěsnění vnitřního prostoru komory přísavky. Po přitlačení manžety je vzduch z přísavky aktivně odsáván pomocí vnějšího zdroje, jako je ejektor, vývěva nebo dmychadlo. Právě ejektory jsou ale díky jednoduchosti v robotice velmi často používaným zařízením k vytvoření podtlaku (obrázek 5.16).

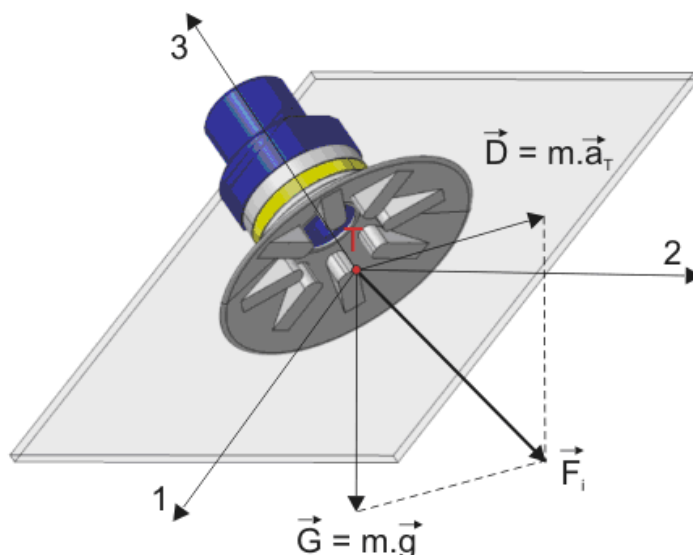


Obr. 2.16 Aktivní podtlaková přísavka od firmy PIAB [18]

V dnešní době nachází aktivní podtlakové hlavice celou řadu uplatnění nejen u manipulátorů a robotů, ale mají svou funkci i na výrobních strojích (např. upínací zařízení). V oblasti manipulace se zejména využívá pro změnu polohy nebo orientace v prostoru u plochých materiálů (skleněné, plechové, plastové, dřevěné tabule, atd.). Dále mají velké zastoupení v procesech balení, paletizace, elektrotechnice atd. Právě díky rozsáhlosti použití je škála typů, provedení, materiálů a rozměrů přísavek obrovská. Na trh jsou dodávány celou řadou výrobců, jako firma FESTO, PIAB, SMC, SCHMALZ a další.

2.4 Analýza silové rovnováhy přísavky

K tomu, aby bylo dosaženo bezpečného držení uchopovaného prvku během manipulace, je nutné stanovit potřebné úchopné síly na podtlakových prvcích. Na objekty působí obecné dynamické síly, jejich působiště je ve zvoleném lokálním souřadném systému v ose přísavky.



Obr. 2.17 Zatížení přísavky [19]

Z obrázku 2.17 je patrné, že síly můžeme rozložit dle rovnice:

$$m \cdot \vec{g} + m \cdot \vec{a}_r = \vec{F}_{1i} + \vec{F}_{2i} + \vec{F}_{3i}$$

Tento předpoklad zjednodušíme a síly rozložíme do směru v ose přísavky a ve směru kolmém k ose. To může být využito při výběru vhodné přísavky a hodnotě vakua v katalogových listech, kde jsou ve většině případů uváděny právě maximální síly v těchto dvou směrech.

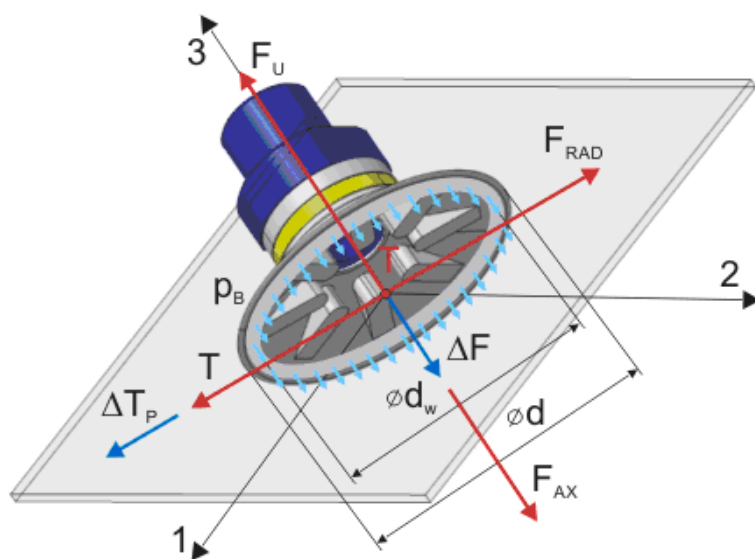
Při rozdělení celkového silového zatížení do směru axiálního a radiálního se nám rovnice upraví do následující podoby:

$$F_{AX} = F_{3i} \text{ a } F_{RAD} = \sqrt{F_{1i}^2 + F_{2i}^2}$$

Při uchopení manipulovaného tělesa a jeho držení vznikne silová rovnováha, kterou názorně prezentuje obrázek 2.18. Aby bylo dosaženo této podmínky rovnováhy uchopovaného tělesa a přísavky, bude statická rovnice vypadat následovně:

$$T + \Delta T_P - F_{RAD} = 0$$

$$F_U - F_B - F_{AX} - \Delta F = 0$$



Obr. 2.18 Rozbor sil mezi tělesem a přísavkou [19]

Podtlak Δp , který působí na činnou plochu přísavky s průměrem d_w , vyvolá působení vnější síly F_U . Při těchto výpočtech je v tomto případě použit geometrický průměr přísavky d (Obr. 2.4). Ve směru osy z lokálního systému dále působí síla F_{AX} . V důsledku přitlaku přísavky p_B působí síla F_B a mezi dnem přísavky a objektem se projevuje přídavná síla ΔF . Dále zde působí radiální síla F_{RAD} a T na těsnicí ploše břitu ve směru osy x . Sílu ΔT_P je vzhledem k tření na dně přísavky definována vztahem:

$$\Delta T_P = \Delta F \cdot f_K$$

Pro stav mezní rovnováhy, kdy je těleso v klidu a síla ΔF nulová, lze definovat teoretickou úchopnou sílu $F_{U\text{ teor}}$:

$$F_{U\text{ teor}} = \frac{F_{RAD}}{f_K} + F_{AX} + F_B$$

Sílu F_B není jednoduché stanovit a při konkrétních výpočtech by bylo nutné vycházet z experimentálně zjištěných údajů. Při znalosti materiálových vlastností přísavky a okrajových podmínek by se dalo využít přibližného výpočtu pomocí metody konečných prvků, ale ve většině příkladů se obecně předpokládá, že $F_B \ll F_{AX}$ a lze ji zanedbat [19]. Pro skutečnou sílu při centrickém uchopení pak platí:

$$F_U = k \cdot \left(\frac{F_{RAD}}{f_k} + F_{AX} \right)$$

2.5 Koeficient bezpečnosti a jeho stanovení

Ze vztahu (2.6) by bylo možné pro zvolenou hodnotu stanovit minimální činný, resp. geometrický průměr přísavky za předpokladu, že vnější zatížení bylo nadefinováno pro nejméně příznivý režim manipulačního cyklu. Je-li dále přesně znám koeficient smykového tření f_k , nejlépe experimentálně, lze navrhnout přísavku pro minimální koeficient bezpečnosti $k=2$. Obecně tedy platí, že pro manipulace s vertikální rovinou uchopení (radiální zatěžování přísavky) volíme větší hodnotu koeficientu bezpečnosti než při manipulačních úlohách, při kterých je přísavka zatěžována převážně axiálně. Z tohoto důvodu je vhodné vztah (2.6) přepsat do tvaru:

$$F_U = k' \cdot \frac{F_{RAD}}{f_K} + k'' \cdot F_{AX}$$

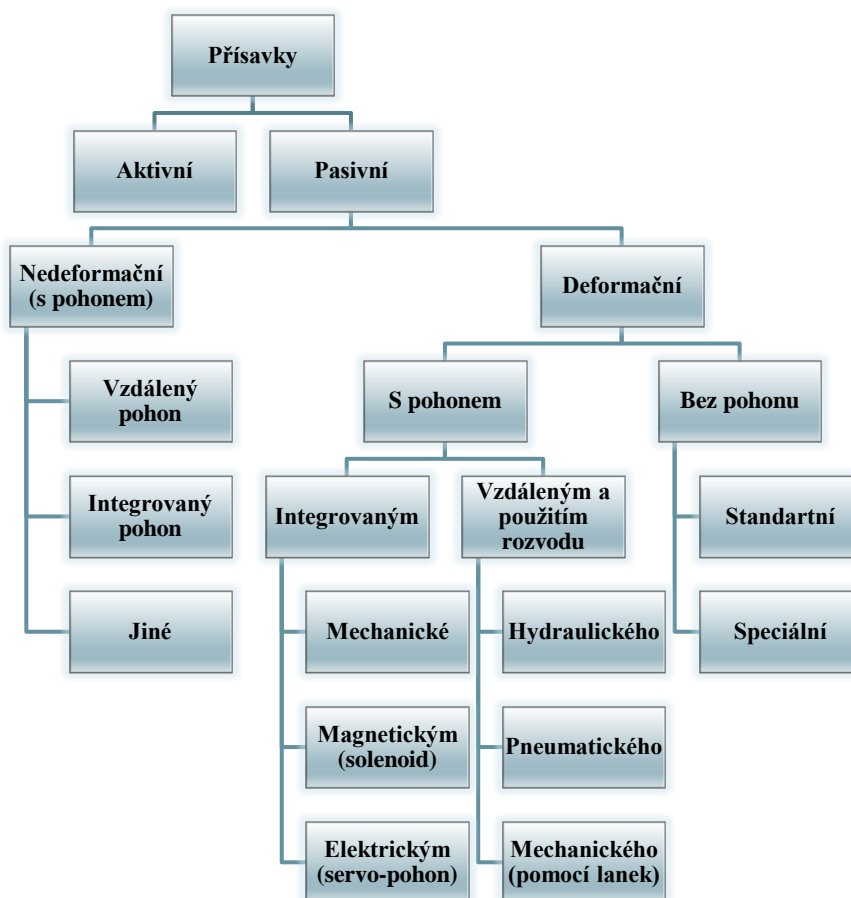
Kde k' (*bezpečnost proti posunutí*) a k'' (*bezpečnost proti odtržení*) jsou příslušné koeficienty bezpečnosti se směrem největšího zatížení přísavky, pro které platí, že $k' > k''$. Běžné hodnoty koeficientů ve standardních dynamických režimech manipulační úlohy jsou $k' = 6 - 8$ a $k'' = 4 - 5$.

Vzhledem k tvarové poddajnosti přísavky způsobené elastickým chováním během manipulačních úloh, kdy se mění orientace vnějších zátěžných sil působící na objekt manipulace, se takto definovaná bezpečnost liší od přesné reálné situace. V praxi to znamená, že dochází k odtrhávání a následnému přibližování dna přísavky k objektu. Tento jev je ale do jisté míry eliminován změnou činného geometrického průměru přísavky, což způsobí zvýšení nebo snížení hodnoty úchopné síly, kterou přísavka vyvozuje. Tato pulzace ale probíhá jen v určitém silovém rozmezí a se stále se zvyšujícím vnějším zatížením objektu dojde k jeho nenávratnému odtržení od přísavky [19].

3 Koncepční návrhy a zpracování optimálního řešení přísavky a pohonu

Všechny předchozí uvedené teoretické a konstrukční předpoklady jsou v současné době prakticky aplikovány a v další části této bakalářské práce se s nimi bude pracovat v takovém spojení, aby se dospělo k optimálnímu návrhu pohonu deformační přísavky. Díky široké škále možností, jak řešit lineární nebo rotační pohyb a možnosti využít speciální materiály potřebné ke vzniku podtlakového media, je množství variant, jak problematiku řešit, obrovské. V další části této práce budou tedy zjednodušeně popsány základní návrhy na technické principy řešení pohonu pasivní přísavky a následně vybrána optimální konstrukční metoda, která bude podrobně zpracována.

Na obrázku 3.0 jsou přehledně rozděleny typy přísavek, ovšem podrobnější rozvětvení je pouze u přísavek pasivních, kterými se tato práce zabývá. Aktivní přísavky jsou využívány v případech, kde je použit centrální zdroj na výrobu podtlakového media, což se netýká tématu zadání a nejsou tedy již více rozepsány. Dle předchozí teorie a parametrů zadání se tedy bude tato práce zabývat pasivními deformačními přísavkami, a to deformačními i nedeformačními, protože obě tyto varianty jsou prakticky použitelné i bez centrálního zdroje podtlakového media.



Obr. 3.0 Varianty koncepčního řešení

Při vyhodnocování možných variant řešení se vychází z několika hlavních požadavků na koncepční řešení pohonu a přísavky. Vzhledem k tomu, že by zařízení mohlo být použito v kombinaci s pohyblivým robotem, je jedním z hlavních parametrů hmotnost, silové poměry a rozměry celého pohonu a přísavky. Dalším parametrem je dostupnost technologií a zařízení, se kterými pohon pracuje, možnost ověřit si funkčnost technologie v praxi, spolehlivost, dále pak požadavky na údržbu zařízení, energetickou a samozřejmě finanční náročnost.

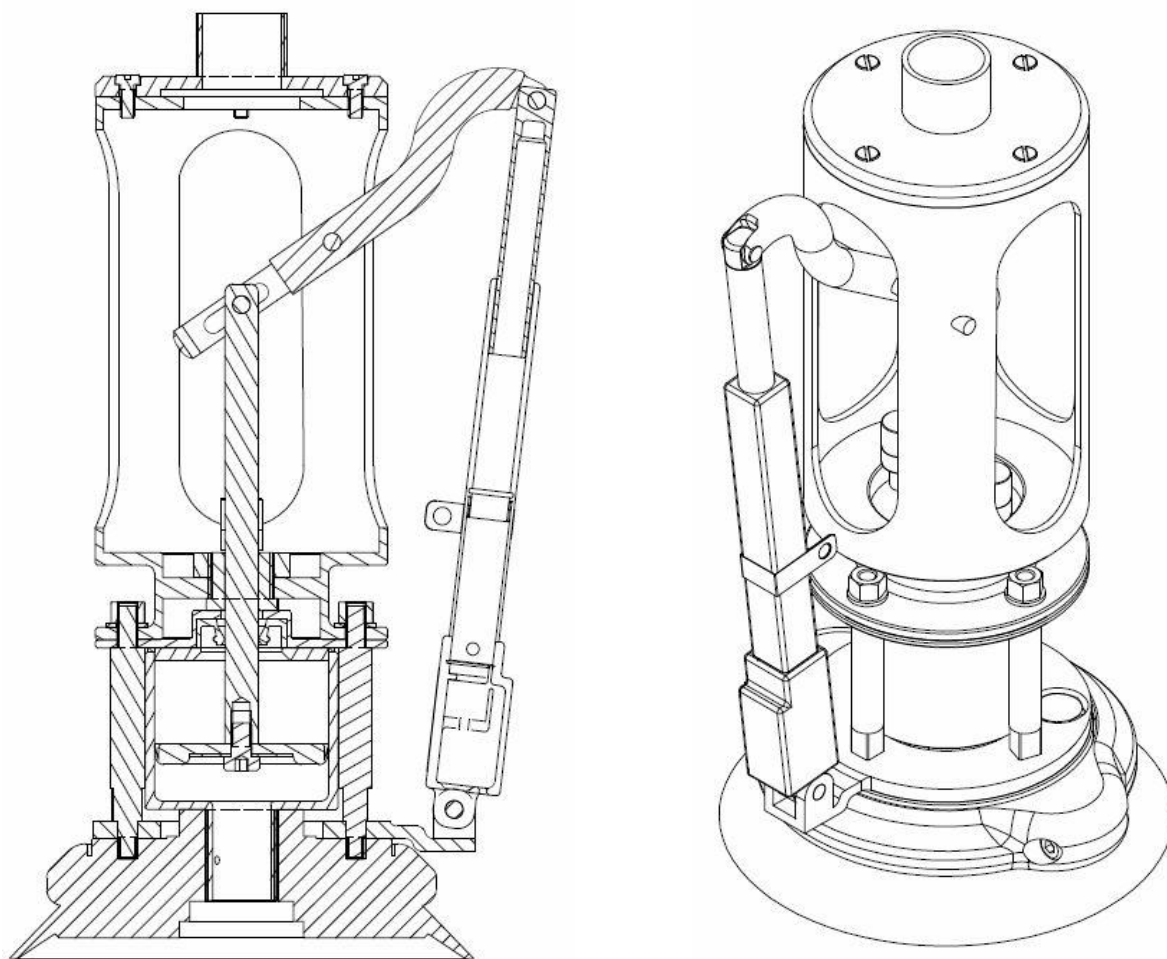
3.1 Volba typu přísavky

Aktivní a pasivní nedeformační přísavky nejsou tématem této práce a byly částečně popsány v předchozích kapitolách, proto již zde nebudou dále rozebírány. Deformační přísavky lze pak rozdělit na přísavky s pohonem a bez pohonu. Mezi naprosto základní přísavky bez pohonu lze označit běžně používané přísavky z domácnosti nebo na manipulaci se sklem. V tomto případě se jedná o přísavky z kapitoly 1.2.1. a 1.2.2 uvedené na obrázku 1.2 a 1.3, které se deformují při jejich silovém kontaktu s uchopovaným objektem. Dále jde o speciální přísavky uvedené v kapitole 1.2.9 a na obrázku 1.12 a 1.13, kde se jedná o variantu, která jako „pohon“ využívá tvarové paměti materiálu, ovšem nejedná se tedy o pohon v pravém slova smyslu a nehodí se k použití na veliké silové poměry, které vznikají v rámci řešení pohonu této práce.

Přísavky s pohonem se dají koncepčně rozdělit na přísavky s pohonem integrovaným nebo neintegrovaným. Neintegrováný pohon v tomto smyslu znamená, že přísavka nebo soustava přísavek je ovládána vzdáleným aktivním pohonem, který se dá rozdělit na pohon elektrický, pneumatický nebo magnetický a síly působící na přísavky jsou přeneseny dle obrázku pomocí pneumatického, hydraulického nebo mechanického převodu (v našem případě ocelovým lankem). Přísavky s integrovaným pohonem mají dle rozdělení na obrázku 2.19 pohony integrovány do sestavy s přísavkou, což má výhodu ve schopnosti přísavky pracovat nezávisle na ostatních, ovšem přináší nevýhody ve velikosti jednotlivých přísavek a jejich hmotnosti, odolnosti konstrukce vůči radiálním a axiálním silám, stejně jako v použití pohonů, které rapidně navyšují hmotnost přísavky a její rozměry. Z těchto důvodů je vhodnější volbou deformační pasivní přísavka s neintegrovaným pohonem, ovládaná mechanicky nebo hydraulicky, nebo vhodně navržená přísavka s integrovaným pohonem.

3.1.1 Aktivní přísavka s integrovaným pohonem

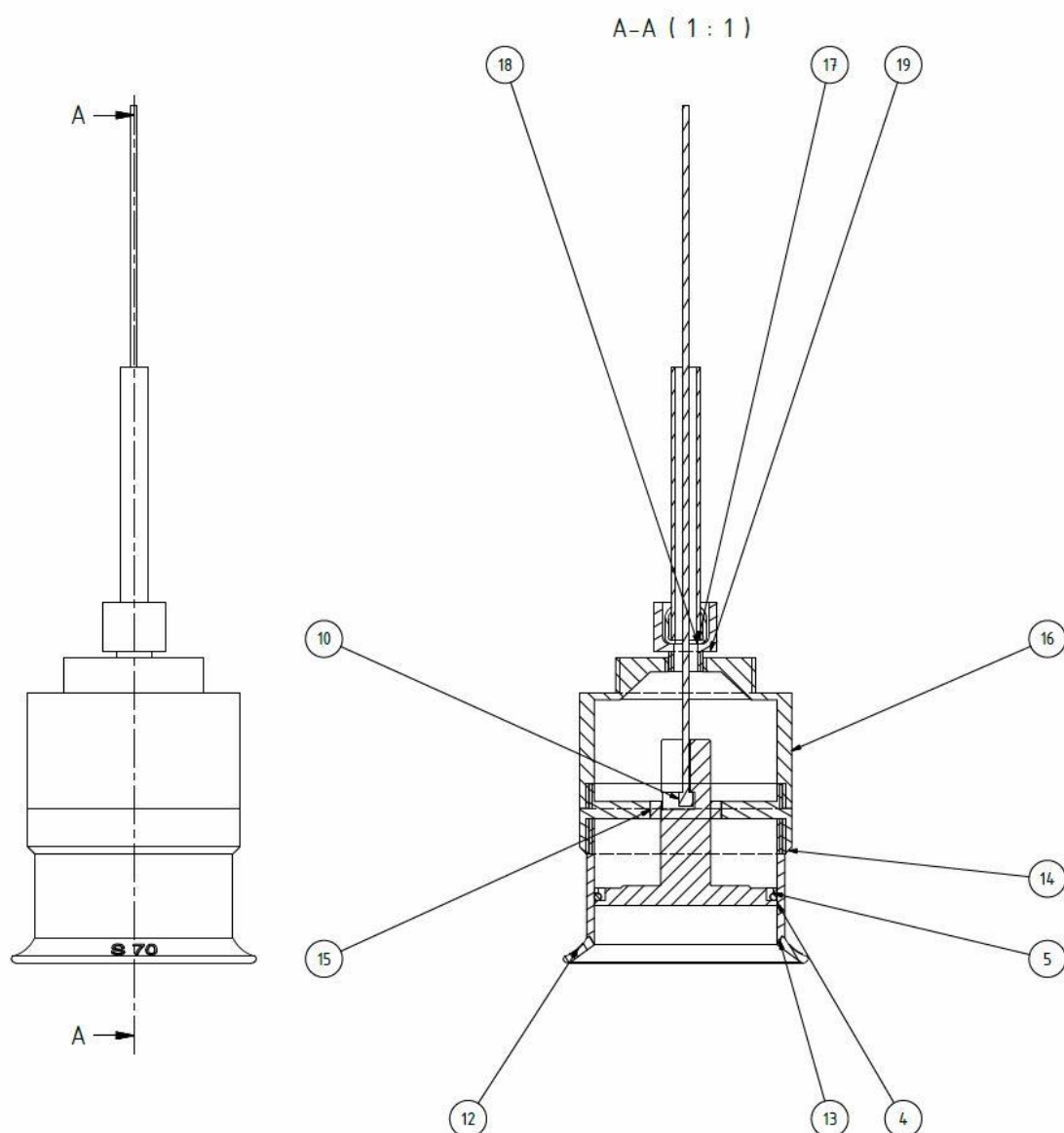
První koncepční variantou je využití integrovaného pohonu a aktivní normované přísavky PIAB. Je vhodná k využití u zařízení, kde je vyžadována nezávislost jednotlivých přísavek, menší působící síly a nižší podtlak. Konkrétně jde o přísavku PIAB F110 a lineární pohon L16 napájený stejnosměrným napětím. Uložení motoru mimo ochranou klec nohy umožňuje použití vyšší řady lineárních motorů, u kterých využijeme především vyšších sil a delší dráhy. Přepákování bylo zvoleno v poměru 1:2. Pro případ, že by obsah vzduchu nestačil, mohou být nad pístem uloženy dva přetlakové ventily umožňující při pohybu nahoru únik vzduchu. Ty pak zajistí možnost pohybu pístu dolů při zachování dostatečného podtlaku. Je tedy možno opakovat cyklus vícekrát bez nebezpečí ztráty přilnavosti. Odejmutí nohy od desky by pak bylo zajištěno externím elektronicky ovládaným ventilem umístěným přímo na přísavce. Tento koncept je zobrazen na obrázku 3.1.



Obr. 3.1 Aktivní přísavka s integrovaným pohonem

3.1.2 Aktivní nedeformační přísavka

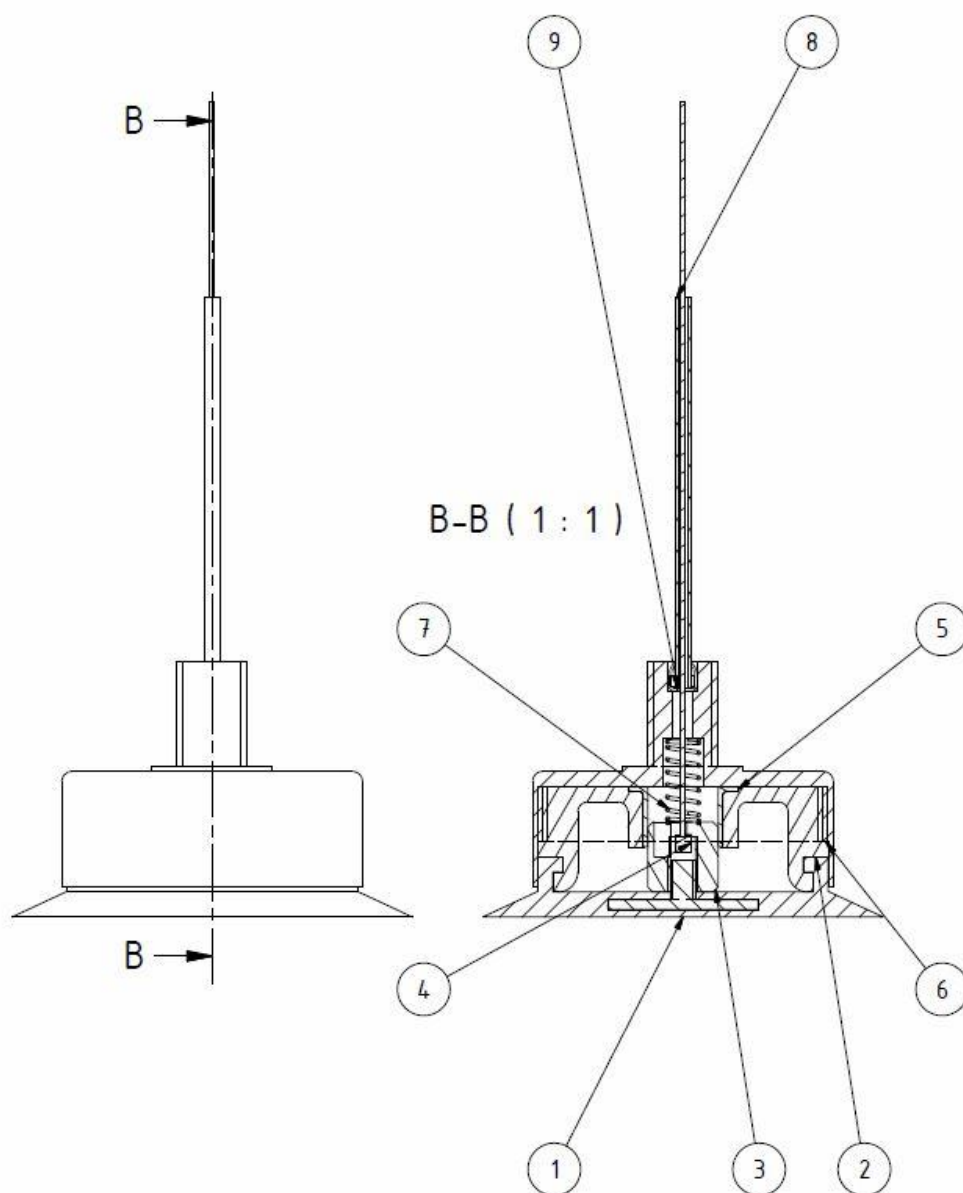
Další možností je využít samostatný pohon a aktivní normovanou přísavku PIAB G.S70T50 (12), kdy je podtlak vyvozen tahem za bowdenové lanko (10,17,18) a vysunutím pístu (4) ve válci. Zpětný pohyb pístu může vyvozovat kuželová pružina, pokud by nestačilo uvolnění lanka pomocí pohonu. Tato přísavka by měla být ovládána vzdáleným pohonem, v nejlepším případě pomocí lineárního motoru. Tělo přísavky se skládá ze dvou částí, spodního dílu (13), na který je přilepená normovaná přísavka (12) a horní části (16), která obsahuje i částečné vedení pístu. Součástí konceptu je v horní části normovaný stavěcí šroub (19). Návrhy pohonu jsou uvedeny níže. Celý princip přísavky je znázorněn na obrázku 3.2.



Obr. 3.2 Aktivní nedeformační přísavka

3.1.3 Pasivní deformační přísavka A

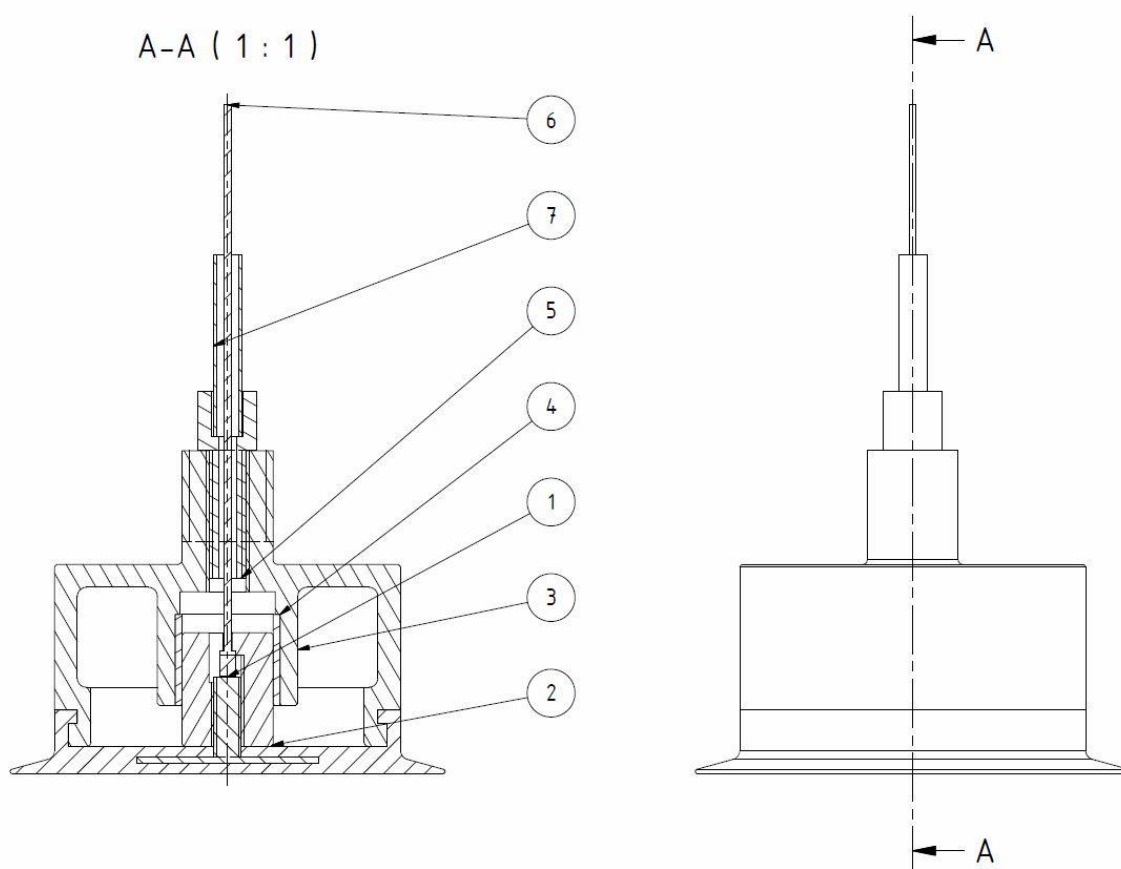
Na rozdíl od předchozí varianty, kdy byl použit píst a válec, je v tomto případě využito pasivní deformační přísavky (1), která je tvarově spojená s vnitřním dílem (2), na který je napojeno lanko (8) vyvolující tahovou sílu a které tím deformuje přísavku. Jako pohon může být použit jako v předchozím případě pohon lineární s lineárním vedením. Zpětný pohyb do výchozí pozice zajišťuje pryžová přísavka a obstarává ho částečně také válcová pružina (7), která zajišťuje polohu lanka. Tělo přísavky se skládá ze dvou částí. Vrchní díl (9) zajišťuje její polohu v závislosti na tvarovém spojení pružiny a vnitřního dílu (2), který současně zajišťuje vedení pístu (3). Poslední díl, který je přímo navulkanizován do přísavky, využívá na vnější části závitového spojení s pístem. Přísavka opět obsahuje normovaný stavěcí šroub určený k upevnění na robota nebo do manipulační hlavičky. Koncept je znázorněn na obrázku 3.3.



Obr. 3.3 Pasivní deformační přísavka A

3.1.4 Pasivní deformační přísavka B

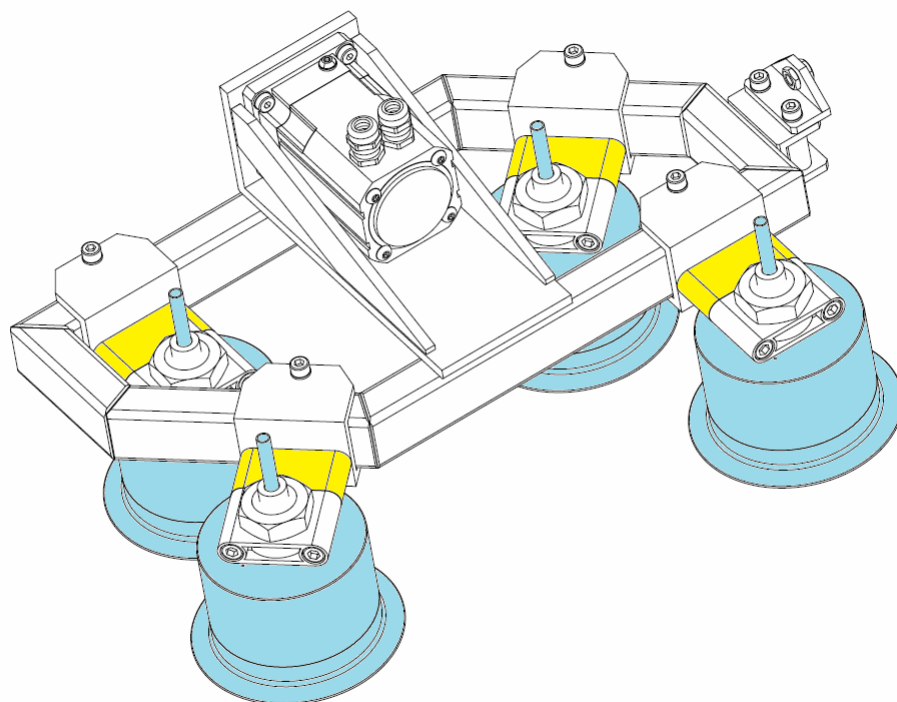
Další variantou, která z velké části čerpá z té předchozí, je opět využití pasivní deformační přísavky a mechanického převodu síly pomocí lanek (6). Tato přísavka se skládá z těla (3), na které je tvarově připevněna přísavka, a které tvoří současně vedení pro píst. Do přísavky je opět navulkanizován díl (1), který je závitově spojen s pístem (2) a píst ve spojení s lankem realizuje zdvih a deformaci přísavky. Tento díl zároveň při montáži zajišťuje lanko. Oproti předchozí přísavce je výrobně jednodušší. Koncept je zobrazen na obrázku 3.4



Obr. 3.4 Pasivní deformační přísavka B

3.2 Možnosti připevnění přísavek na robota

Všechny koncepční varianty přísavek na sobě mají závit metrických normovaných rozměrů, díky kterému se mohou upnout do manipulační hlavice robotů nebo na nohu robotů servisních. Příkladem může být servisní robot vyvíjený na KSR, jehož jedna „noha“ a část podvozku je vidět na obrázku 3.5. Konkrétně u tohoto robota, za předpokladu drobné úpravy větším odsazením jeho nohy, není problém přísavku pomocí matice upnout. Upnutí přísavky na nohu pomocí matic je taktéž znázorněno na obrázku 3.5 (obrázek je pouze ilustrační, dle zvolené přísavky nebo servisního robota může model vypadat jinak).



Obr. 3.5 Příklad upnutí přísavky na robota

3.3 Rozhodovací analýza pro volbu přísavky

Pro vhodnou volbu koncepční přísavky je použita rozhodovací analýza. Pro analýzu jsou zvolena tato kritéria:

- **hmotnost**
- **rozměry**
- **jednoduchost konstrukce a vhodnost použití**
- **pořizovací náklady**

Možné varianty úchopných hlavic jsou zastoupeny v pravé části tabulky písmeny:

- A: **Aktivní přísavka s integrovaným pohonem**
- B: **Aktivní nedeformační přísavka**
- C: **Pasivní deformační přísavka A**
- D: **Pasivní deformační přísavka B**

Protože jednotlivá kritéria mají rozdílnou míru závažnosti pro posuzování variant, je nutné stanovit jejich váhu. Vzhledem k obtížnosti posuzování většího počtu kritérií najednou se aplikuje pro stanovení pořadí důležitosti metoda párového srovnání (*tab. 1*).

Párové srovnávání kritérií					Matice užitečnosti alternativ									
					X		A		B		C		D	
Poř. č.	Název kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota	
					P	V	P	V	P	V	P	V	P	V
1.	Hmotnost	1	3	2	100	200	40	80	70	140	80	160	80	160
2.	Rozměry	2	2	3	100	300	30	90	50	150	90	270	80	240
3.	Jednoduchost a vhodnost konstrukce	3	1	4	100	400	20	80	60	240	50	200	90	360
4.	Pořizovací náklady	0	4	1	100	100	20	20	70	20	60	60	80	80
Celkem						1000		270		550		690		840
Užitečnost v relativním vyjádření (%)								27%		55%		69%		84%
Pořadí alternativ podle užitečnosti								4.		3.		2.		1.

Tab. 1 Rozhodovací analýza pro volbu přísavky

Výsledkem rozhodovací analýzy mezi čtyřmi variantami úchopných hlavic, dle čtyř výše uvedených kritérií bylo stanoveno toto pořadí:

1. **Pasivní deformační přísavka B**
2. **Pasivní deformační přísavka A**
3. **Aktivní nedeformační přísavka**
4. **Aktivní přísavka s integrovaným pohonem**

Z výsledků rozhodovací analýzy je pro konstrukční řešení tedy vybrána varianta D, tedy pasivní deformační přísavka B.

3.4 Teoretické zjištění zdvihu pístu a deformace přísavky

Pro odvození velikosti zdvihu deformační přísavky je využito počítačové simulace. Reologické chování přísavky bylo nahrazenou Mooney-Rivlinový modelem, díky němuž se při zadání velikosti zdvihové síly v ose Z a dalších prvků dají určit deformace elastického materiálu, získat parametry deformované přísavky a tím následný zdvih. Pomocí softwaru MSC.Marc, jehož vstupem byl 3D model přísavky (s určeným místy, kde je přísavka v kontaktu s tělem podtlakové hlavy), hodnoty youngových modulů pružnosti pro pryžové materiály a zdvihová síla v ose Z, byla simulována deformace přísavky. U modelu samotné přísavky byly použity rozměry odpovídající rozměrům uvedených ve výkresové dokumentaci. Tloušťka přísavky je tedy zvolena 5mm.

V první části se pracovalo s odhadnutím podtlaku (vakua) pod přísavkou, který byl nastaven na 60 kPa. Vzhledem k různorodosti pryžových materiálů, ať už jde o silikonové, nitrilové, latexové nebo jiné materiály, byly zvoleny čtyři testovací hodnoty youngových modulů, na jejichž základě byla vymodelována přibližná deformace.

Při prvotním odhadnutém podtlaku 60 kPa se tedy použili hodnoty youngových modulů elasticity v rozmezí 5 – 20 kPa. Díky tomu vznikl model uvedený na obrázcích 3.6 a,b,c,d, na kterých jsou barevně znázorněny hodnoty posunutí a zjištěn předběžný zdvih pístu. Následně byl z objemů, které vznikly deformací přísavky při různých hodnotách youngových modulů, zpětně přepočítán podtlak pod přísavkou a znovu proběhla analýza pomocí SW při různých hodnotách podtlaku k daným objemům, které byly získány při první deformační analýze. Pro porovnání jsou nové hodnoty a modely také uvedeny na obrázcích nad původními.

Z Mooney-Rivlingovo modelu byly vyjádřeny konstanty C_{10} a C_{01} nutné k výpočtu deformací, simulující reálné chování elastomeru (hyper-elastického materiálu), pomocí SW následně zjištěna deformace a zpětně vypočítán podtlak. V tabulce jsou uvedeny simulační hodnoty a přepočet úrovně podtlaku.

$$C_{10} = \frac{E/6}{1,25} \quad C_{01} = \frac{C_{10}}{4}$$

E [MPa]	5 MPa (Nitril)	10 MPa (pryž)	15 MPa	20 MPa
C10 [-]	0,6	1,3	2	2,6
C01 [-]	0,15	0,3	0,5	0,6
F _z [N]	100 N	100 N	100 N	100 N
Počáteční zvolený podtlak [kPa]	60 kPa	60 kPa	60 kPa	60 kPa
Upravený podtlak [kPa]	80 kPa	74 kPa	63,3 kPa	55 kPa

Izotermický děj:

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2 \quad p_1 = p_a \text{ (atmosférický tlak)} \quad p_2 = p_1 * \frac{V_1}{V_2}$$

Kde:

V_1 – počáteční objem

V_2 – konečný objem

Počáteční objem je pro všechny případy stejný a platí:

$$V_1 = \pi * r^2 * v = \pi * 0,028^2 * 0,0006 = 1,477 \text{ cm}^3 = \underline{\underline{1,5 \text{ cm}^3}}$$

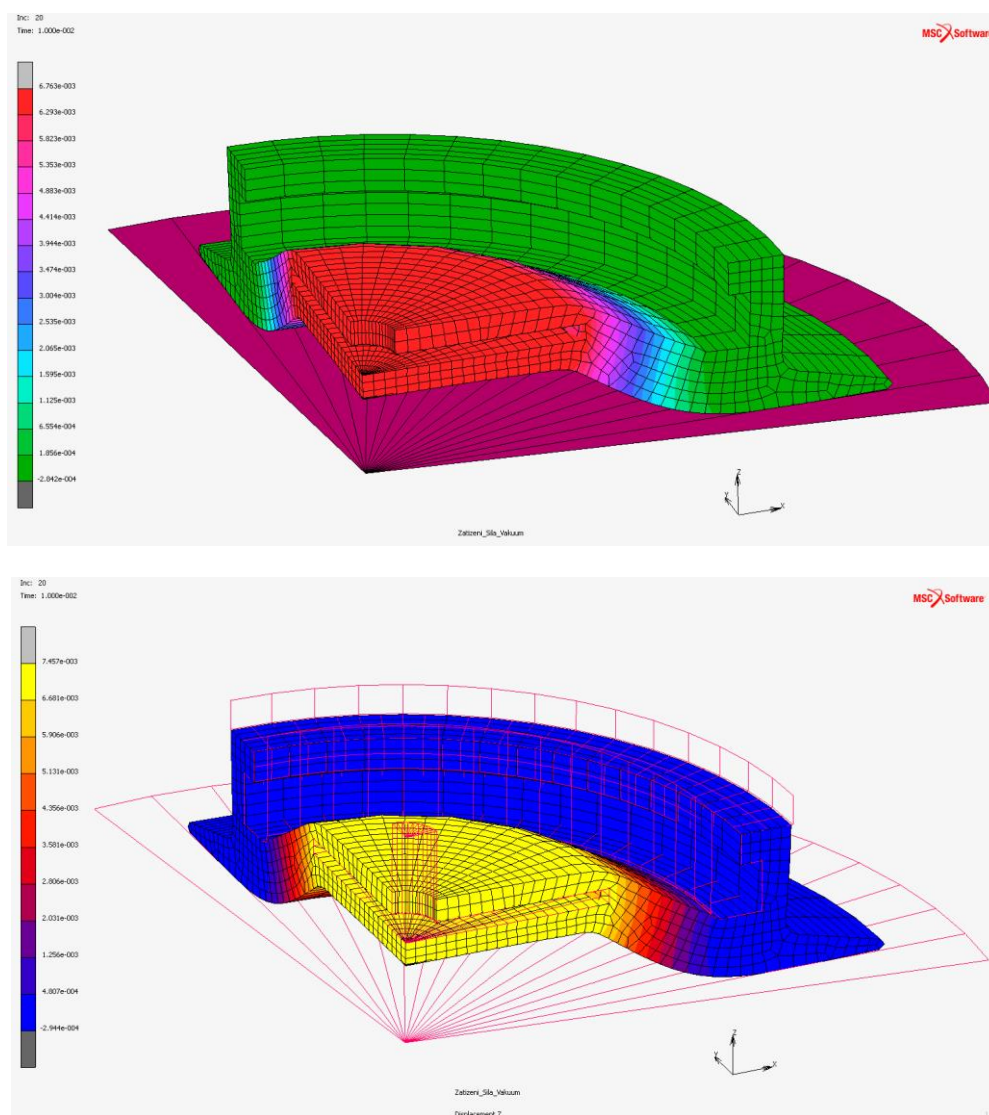
Konečný objem je v závislosti na deformaci a změně objemů proměnlivý a platí přepočítané hodnoty popsané v následujících kapitolách.

3.4.1 Teoretické zjištění míry deformace a podtlaku pro hodnotu Youngova modulu $E=5\text{MPa}$

Konečný objem ($E=5\text{MPa}$):
$$V_2 = \pi * 0,017^2 * 0,0067 + \frac{\pi}{2} * (0,03 - 0,017)^2 * 0,0067 = \underline{\underline{7,8\text{cm}^3}}$$

Z toho p_2 (Pro $E=5\text{MPa}$):
$$p_2 = 101,3 * \frac{1,5}{7,8} = 19,48 = \underline{\underline{20\text{kPa}}}$$

Hodnota podtlaku:
$$p = p_2 - p_a = \underline{\underline{-80\text{kPa}}}$$



Obr. 3.6a Deformace přísavky po úpravě $E=5\text{MPa}$ (nahore) a před úpravou (dole)

3.4.2 Teoretické zjištění míry deformace a podtlaku pro hodnotu Youngova modulu $E=10\text{MPa}$

Konečný objem ($E=10\text{MPa}$):

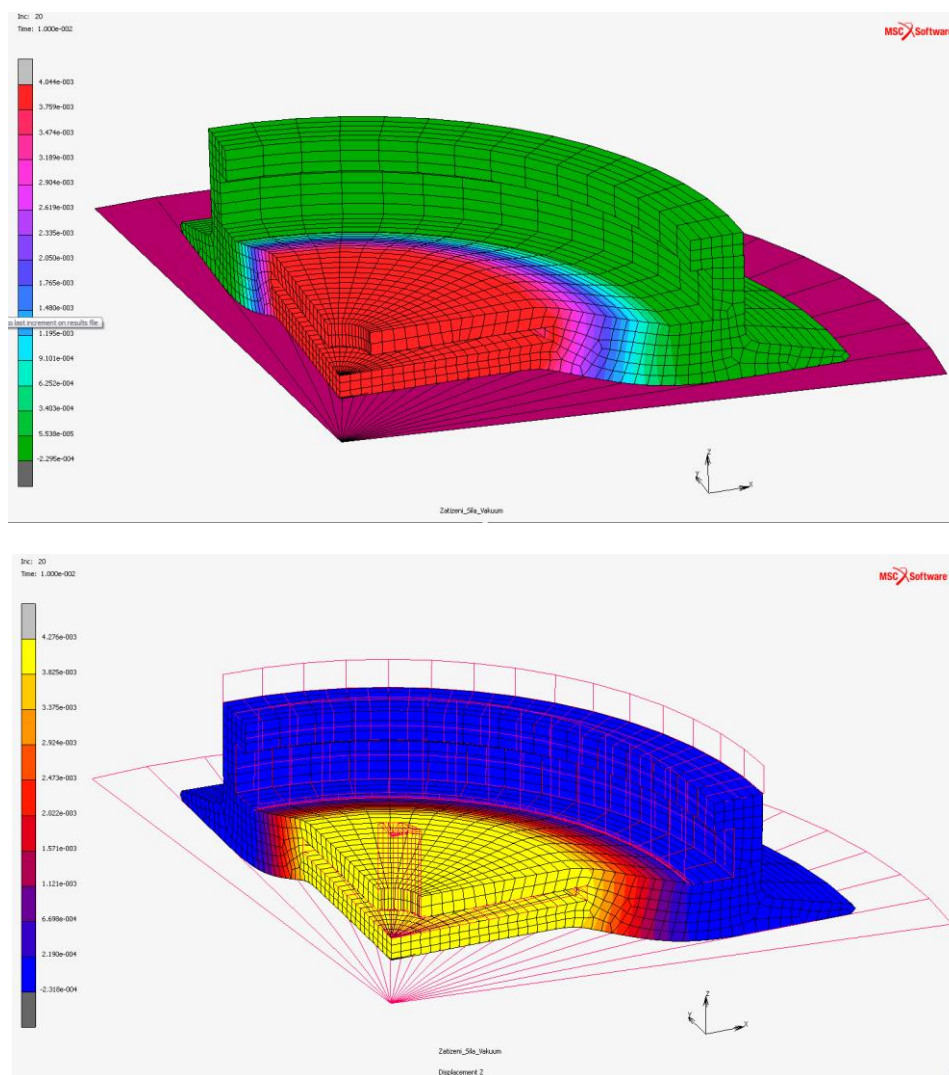
$$V_2 = \pi * 0,017^2 * 0,0044 + \frac{\pi}{2} * (0,03 - 0,017)^2 * 0,0044 = \underline{\underline{5,575\text{cm}^3}}$$

Z toho p_2 ($E=10\text{MPa}$):

$$p_2 = 101,3 * \frac{1,5}{5,575} = \underline{\underline{27,26\text{kPa}}}$$

Podtlak:

$$p = p_2 - p_a = \underline{\underline{-74\text{kPa}}}$$



Obr. 3.6b Deformace přísavky po úpravě $E=10\text{MPa}$ (nahore) a před úpravou (dole)

3.4.3 Teoretické zjištění míry deformace a podtlaku pro hodnotu Youngova modulu $E=15\text{MPa}$

Konečný objem ($E=15\text{MPa}$):

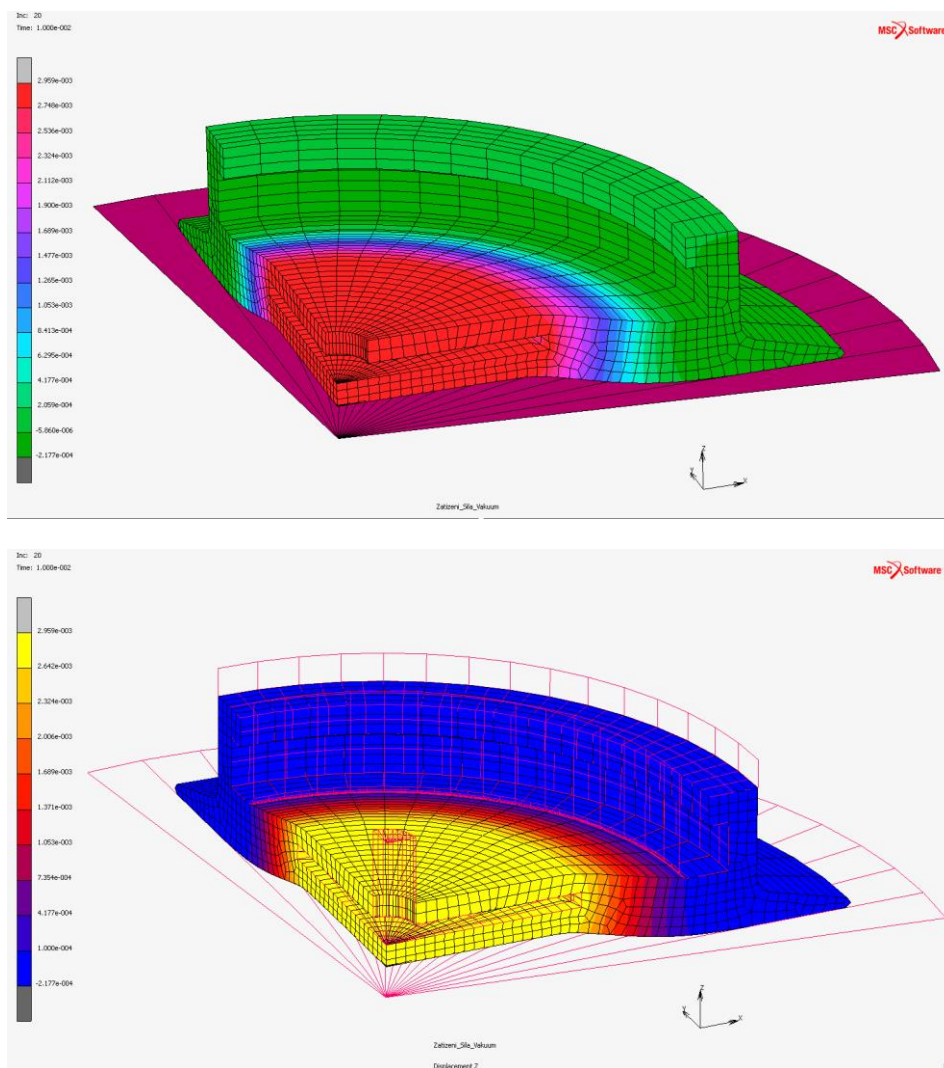
$$V_2 = \pi * 0,017^2 * 0,0031 + \frac{\pi}{2} * (0,03 - 0,017)^2 * 0,0032 = \underline{\underline{4\text{cm}^3}}$$

Z toho p_2 ($E=15\text{MPa}$):

$$p_2 = 101,3 * \frac{1,5}{4} = 19,48 = \underline{\underline{38\text{kPa}}}$$

Podtlak:

$$p = p_2 - p_a = \underline{\underline{-63,3\text{kPa}}}$$



Obr. 3.6c Deformace přísavky po úpravě $E=15\text{ MPa}$ (nahore) a před úpravou (dole)

3.4.4 Teoretické zjištění míry deformace a podtlaku pro hodnotu Youngova modulu $E=20\text{MPa}$

Konečný objem ($E=20\text{MPa}$):

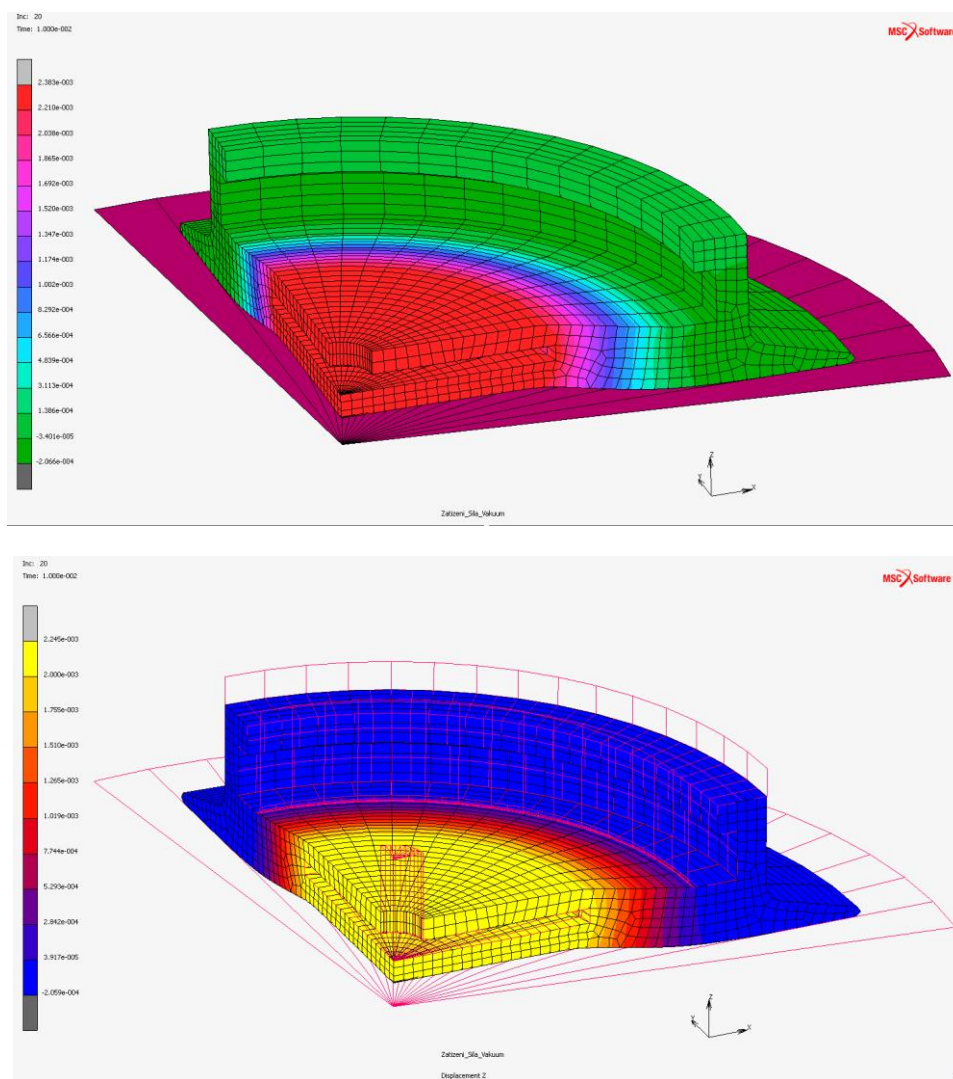
$$V_2 = \pi * 0,017^2 * 0,0026 + \frac{\pi}{2} * (0,03 - 0,017)^2 * 0,0026 = \underline{\underline{3,29\text{cm}^3}}$$

Z toho ($E=20\text{MPa}$):

$$p_2 = 101,3 * \frac{1,5}{3,29} = 46,19\text{kPa}$$

Podtlak:

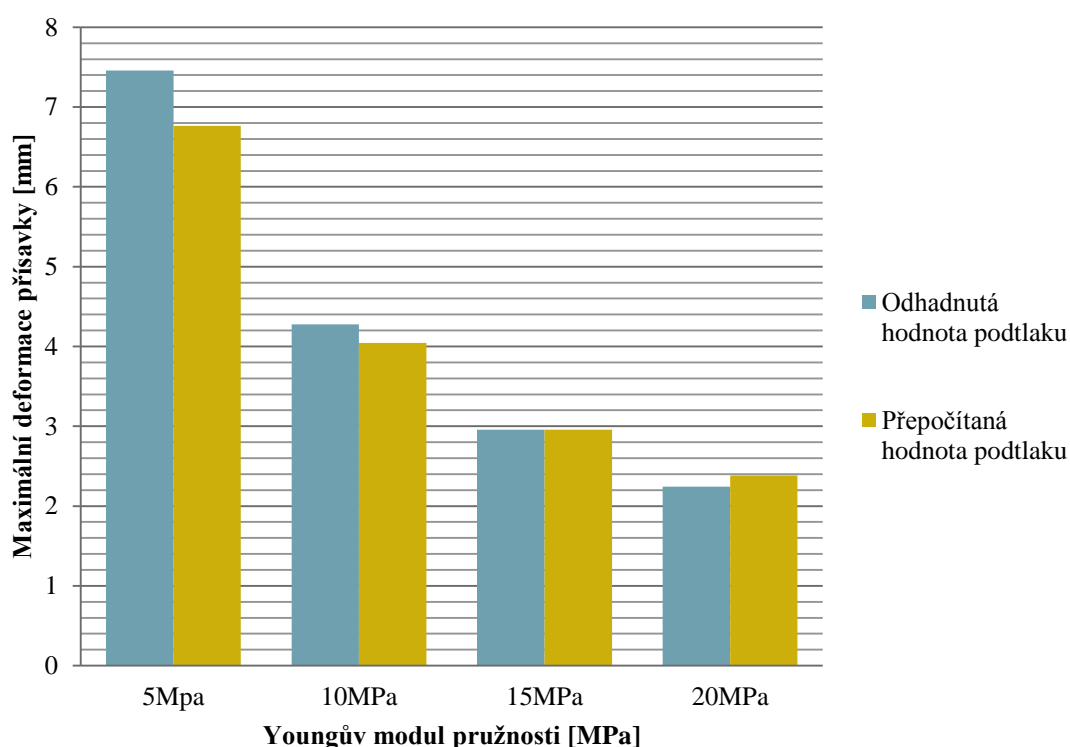
$$p = p_2 - p_a = \underline{\underline{-55\text{kPa}}}$$



Obr. 3.6d Deformace přísavky pro $E=20\text{ MPa}$ po úpravě (nahore) a před úpravou (dole)

3.5 Shrnutí pevnostní analýzy

Pevnostní analýzou jsme zjistili, že pokud použijeme dané pružné materiály s různými hodnotami Youngových modulů, bude maximální zdvih přísavky do výšky zhruba 7,5mm u materiálu s hodnotou $E=5\text{MPa}$, což odpovídá materiálovým vlastnostem Nitrilu. U ostatních materiálů s vyšším modulem E se deformace a následný zdvih snižuje. Díky tomu máme základní (maximální) teoretickou velikost zdvihu potřebnou pro konstrukci modelu přísavky. Pro názornost je velikost maximální deformace a současně i zdvihu uvedena v grafu na obrázku 3.7, kde jsou jasně patrné rozdíly deformací při různých hodnotách Youngových modulů.



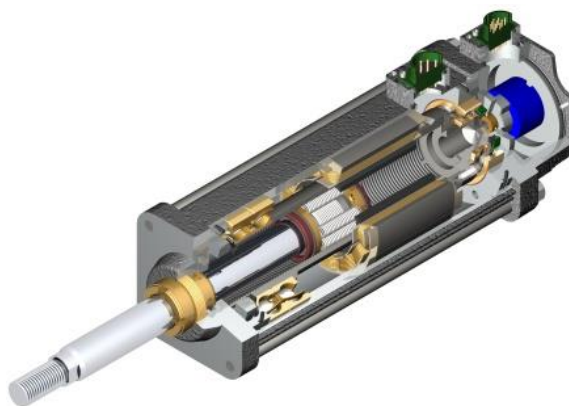
Obr. 3.7 Velikost maximální deformace přísavky

3.6 Výběr pohonu a rozvodu síly

Dalším pilířem celého systému je vhodná volba pohonu. Ten vyvozuje veškeré pracovní síly a je tedy nutné se jeho volbě patřičně věnovat. V návrzích se primárně pracuje s lineárními vedeními, u kterých jsou základními parametry rozměry, hmotnost, síla kterou vyvozují v závislosti na druhu napájení, možnosti připojení ke zdroji střídavého nebo stejnosměrného napětí a jejich odolnost v různých prostředích (prašnost, vlhkost). Hydraulické rozvody jsou dle zadání svojí hmotností, náročností instalace, problémy spojenými se zavzdušněním systémů a ceně méně vhodnou variantou, proto se dále bude rozvíjet pouze téma mechanických převodů.

3.6.1 Lineární aktuátor Exlar a vedení Rollon - Mono Rail

První variantou pohonu je využití střídavého lineárního pohonu Exlar GSX30 v kombinaci s lineárním vedením Mono Rail od firmy Rollon. Aktuátory Exlar mají v servomotoru integrovaný válečkový šroub s planetovým ozubením. Hodí se do manipulátorů a robotů využívající připojení ke zdroji střídavého napětí. Nehodí se tedy primárně k práci na servisních robotech, kde je nutné počítat se stejnosměrným napětím 12/24/36V.



Obr. 3.8 Lineární pohon Exlar série GSX

Oproti hydraulickým nebo pneumatickým válcům přináší provedení s válečkovým šroubem výhody:

- jednoduchá instalace – není potřebný dodatečný systém ventilů, filtrů, čerpadel, snímačů
- snížení nákladů na údržbu a zvýšení životnosti
- snížení hluku při provozu
- vyšší přesnost a dynamika pohybů s možností ve snadném přeprogramování cílových poloh
- vyznačují se vyšším krytím (IP65)
- rozsahem zdvihů 75mm až 455mm a rozsahem sil 0,6kN až 55kN

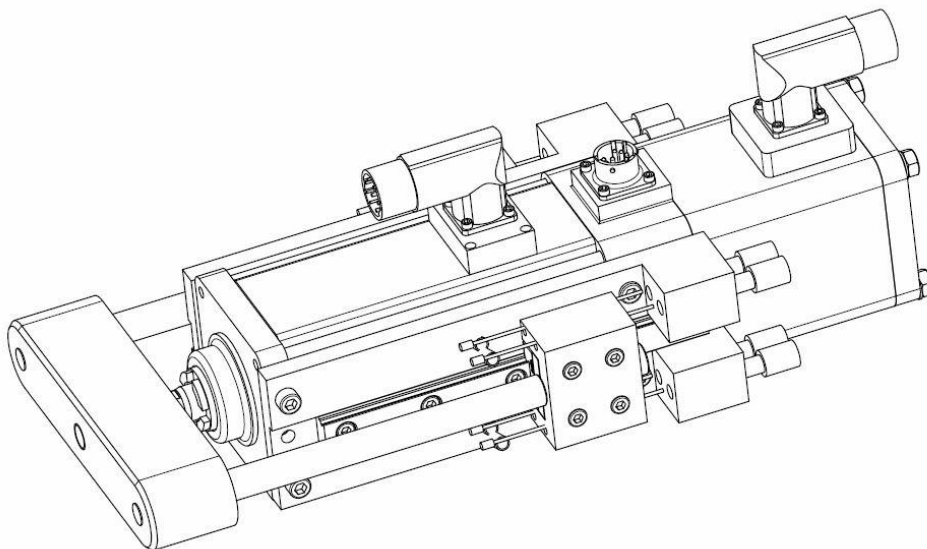
Na pohon bylo integrováno lineární vedení Mono Rail od firmy Rollon. Mono Rail je výrobní řada profilových vedení pro nejvyšší přesnost při vysokém zatížení. Velké ocelové kuličky umožňují vysokou zatížitelnost. Dvoubodový kontakt s dráhami pojezdu vyžaduje jen malé síly pro posun. Jezdec disponuje samočinným mazáním.



Obr. 3.9 Lineární vedení Mono Rail od firmy Rollon

- Kompaktní montážní rozměry kladičkového systému
- Mazání na celou dobu životnosti
- Odolnost proti nečistotám
- Vhodné pro pojezdovou rychlost až 9 m/s

Spojení těchto dvou systémů může vytvořit lineární pohon, který bez větších problémů dokáže díky velkým působícím silám ovládat celou sérii přísavek. Tento koncept při vysunutí pístu napíná lanka a pracuje s použitím osmi přísavek, tedy osmi připojení bowdenových lanek a je zobrazen na obrázku 3.10.



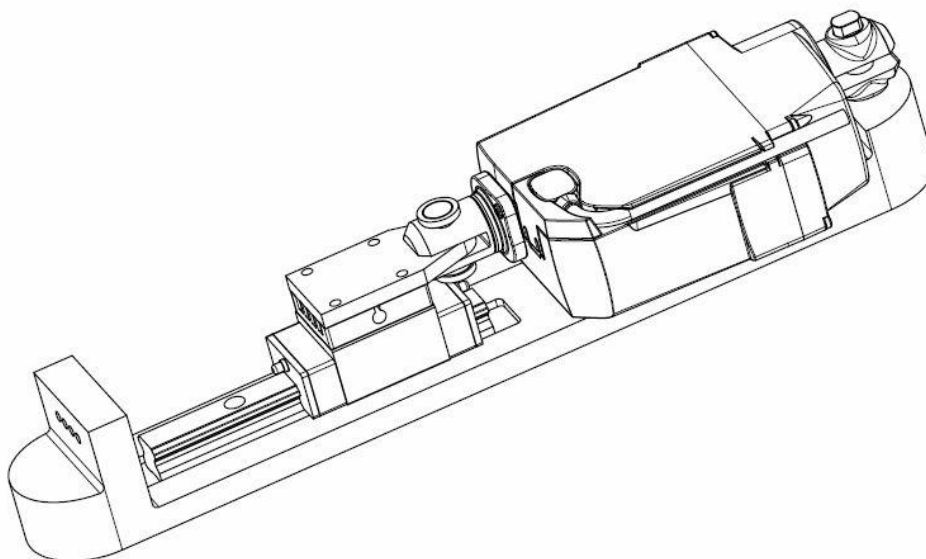
Obr. 3.10 Pohled na konepční 3D model pohonu s lineárním vedením

3.6.2 Lineární pohon Linak LA23 a lineární vedení Rollon - Mono Rail

Tato varianta využívá spojení 12/24/36V lineárního pohonu v kombinaci s lineárním vedením Mono Rail (popsané výše). Kompaktní rozměry umožňují umístit pohon na podvozek servisních robotů. Pohon LA23 je malý a silný pohon, určený pro použití v tahu či v tlaku (až 2500 N). Lze jej použít v různých aplikacích, kde je limitujícím faktorem velikost aktuátoru. K pohonu byl vytvořen rám, na který je připevněno opět lineární vedení Mono Rail od firmy Rollon a současně nosič lanek, který napíná lanko a pohybem pístu ovládá přísavky. Tato koncepční varianta může ovládat několik lanek (přísavek), v tomto případě byla zvolena lanka čtyři, ale dle zadání se tento počet může měnit. Výhodou tohoto pohonu je opět vysoká odolnost vůči okolním vlivům IP66 (prašnost, ostřikující voda). Podobně se dá využít také pohon LA36, který je ovšem rozměrově větší, ale dokáže pracovat s většími zatíženími až 10 kN.

Výhody elektrického lineárního pohonu LA23 :

- Kompaktní rozměry a design
- Velká zdvihová síla
- Volitelné kabely
- Možnost osazení systémem inteligentního řízení (IC)
- Max. síla : 2500 N
- Max. rychlost : 9,4 mm/s



Obr. 3.11 Pohled na konepční 3D model pohonu s lineárním vedením

3.7 Rozhodovací analýza pro volbu pohonu

Pro vhodnou volbu koncepčního pohonu je opět použita rozhodovací analýza. Pro analýzu jsou zvolena tato kritéria:

- **hmotnost**
- **Zdroj napájení a vyvíjená síla**
- **rozměry**
- **pořizovací náklady**

Možné varianty pohonů jsou zastoupeny v pravé části tabulky písmeny:

A: **Lineární aktuátor Exlar a vedení Rollon - Mono Rail**

B: **Lineární pohon Linak LA23 a lineární vedení Rollon - Mono Rail**

Protože jednotlivá kritéria mají rozdílnou míru závažnosti pro posuzování variant, je opět nutné stanovit jejich váhu. Vzhledem k obtížnosti posuzování většího počtu kritérií najednou se aplikuje pro stanovení pořadí důležitosti metoda párového srovnání (tab. 2).

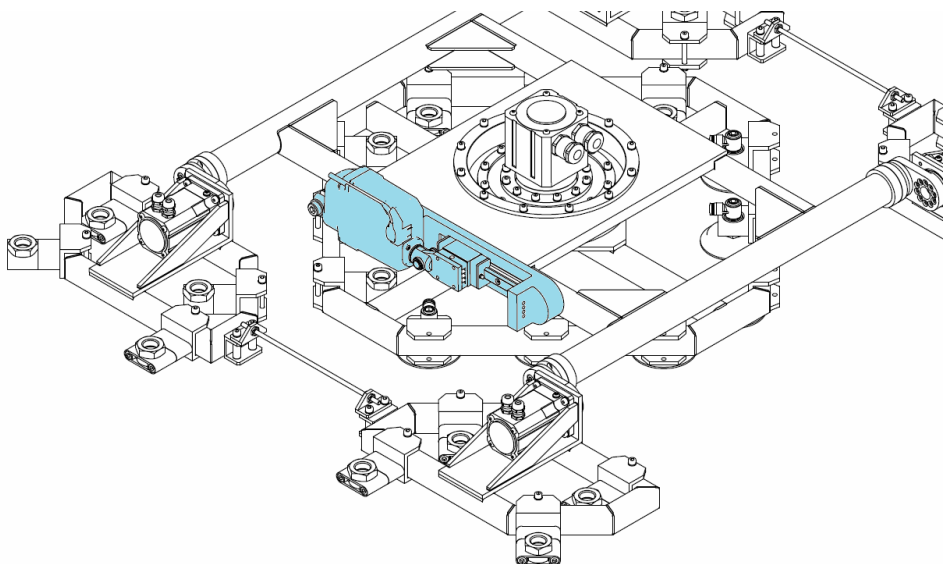
Párové srovnávání kritérií					Matice užitečnosti alternativ					
					X		A		B	
Poř. č.	Název Kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota		Hodnota		Hodnota	
					P	V	P	V	P	V
1.	Hmotnost	1	3	2	100	200	30	60	70	140
2.	Zdroj napájení a vyvíjená síla	2	2	3	100	300	40	120	50	150
3.	Rozměry	3	1	4	100	400	60	240	70	280
4.	Pořizovací náklady	0	4	1	100	100	80	80	60	60
Celkem						1000		500		630
Užitečnost v relativním vyjádření (%)								50 %		63 %
Pořadí alternativ podle užitečnosti								4.		3.

Tab. 2 Rozhodovací analýza pro volbu pohonu

Výsledkem rozhodovací analýzy mezi dvěma variantami pohonů dle čtyř výše uvedených kritérií bylo stanoveno toto pořadí:

1. **Lineární pohon Linak LA23 a lineární vedení Rollon - Mono Rail**
2. **Lineární aktuátor Exlar a vedení Rollon - Mono Rail**

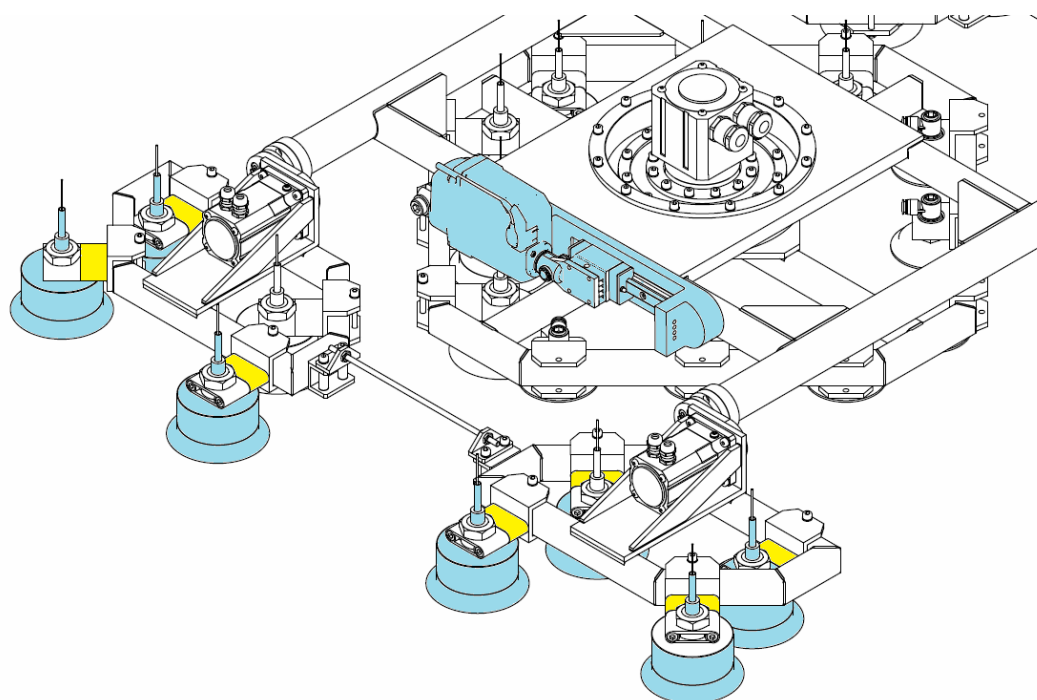
Z výsledků rozhodovací analýzy je pro konstrukční řešení vybrána varianta B, tedy Lineární pohon Linak LA23 a vedení Rollon - Mono Rail. Pro lepší znázornění možnosti využití tohoto pohonu přímo na podvozcích servisních robotů, je na obrázku 3.12 zobrazen pohon použitý konkrétně na podvozku servisního robota vyvíjeného na KSR.



Obr. 3.12 Pohled na konepční 3D model pohonu, umístěným na servisním robotovi KSR (bez přísavek)

3.8 Výkresová dokumentace

Na základě volby pohonu a přísavky, kdy byla vybrána vhodná kombinace, která se dá použít jako koncepční řešení pro podvozky servisních robotů nebo do hlavic manipulátorů, je k této práci přiložena výkresová dokumentace. Ta obsahuje sestavu a jednotlivé výrobní výkresy součástí. Dle rozhodovací analýzy byla zvolena vhodná přísavka, v našem případě tedy pasivní deformační přísavka B, která bude ovládána pomocí lineárního pohonu Linak LA23. Pro přehlednost je na obrázku 3.13 barevně znázorněn koncept možného využití alternativního pohonu a přísavek na podvozku servisního robota vyvíjeného na KSR.



Obr. 3.13 Koncept možného využití alternativního pohonu a přísavek

4. Závěr a zhodnocení využitelnosti

V první části práce jsou shrnuty základní požadavky a předpoklady bakalářské práce a na základě studia současného stavu problematiky pasivních deformačních přísavek provedena analýza možností, využitelnosti a praktického použití deformačních i nedeformačních přísavek. Vzhledem k velkému množství uplatnění všech tipů přísavek je vybráno několik možností, které jsou prakticky využity v rámci této bakalářské práce. Protože řízené pasivní deformační přísavky potřebují ke svému ovládní aktivní pohon, byly také uvedeny možné varianty využitelných hydraulických a mechanických prvků k přenosu síly z pohonu.

V další části jsou rozebrány teoretické fyzikální základy týkající se zdrojů vakua, historie využití vakua, formulace atmosférického tlaku, podtlaku, přetlaku atd. Dále je stručně popsána zařízení na výrobu podtlakového vzduchu a koncové efekty. Hlavním tématem teoretické části jsou pak deformační přísavky, funkce aktivních i pasivních, popis deformace u pasivních, silová analýza rovnováhy přísavek a problematika stanovení koeficientu bezpečnosti.

Na základě předchozích teoretických poznatků, využitelnosti a praktického použití přísavek v praxi jsou navrženy koncepční varianty řešení deformačních i nedeformačních přísavek a pohonů. Tyto varianty obsahují alternativy s aktivními, pasivními, deformačními i nedeformačními systémy v kombinaci s lineárním pohonem a lineárním vedením. Po analýze a vybrání vhodného přístupu k dané problematice je zvoleno řešení, které využívá pasivní deformační přísavky nebo upravené přísavky aktivní, která je ovládaná integrovaným nebo vzdáleným pohonem. Jako hlavní předpoklad pro správný návrh přísavky je nutné určit mimo teoretických a praktických poznatků také zdvih přísavky. Proto byla metodou konečných prvků simulována deformace přísavky na základě různých modulů pružnosti vybraných materiálů. Díky tomu je zjištěn teoretický zdvih pístu přísavky a věnovat se konstrukčnímu řešení. Tato kombinace deformační přísavky a pohonu byla dále zpracována formou výkresové dokumentace.

Závěrem lze říci, že tento koncept řešení pasivních deformačních přísavek se může v závislosti na pohonu využít jak pro manipulaci se sklem, tak pro podvozky servisních robotů. V tomto případě je optimální nasazení tam, kde není možnost použít externího zdroje podtlakového vzduchu a servisní robot má pracovat zcela nezávisle, což mu toto alternativní řešení umožní. Při práci několika pohonů s přísavkami a za použití logických obvodů může systém bez problémů ovládat větší množství přísavek robota. Tento způsob řešení problematiky je v rámci ekonomických nároků na výrobu a energetickou náročnost celého konceptu jednou s alternativních cest jak u servisních robotů získat mobilitu, minimalizovat energetické nároky a přitom zachovat funkčnost systému. Díky všem výše uvedeným vlastnostem se dá koncept dále rozvíjet a upravovat v rámci konkrétního použití.

5. Literatura

- [1] Jiří Skařupa: *Průmyslové roboty a manipulátory*, VŠB Ostrava 2007
- [2] *Piab - suction cups katalog výrobků* [online]. 2004 [cit 2012-10-5] Dostupné z <http://www.piab.com/en-GB/System/Modules/Start-Page-Modules/E-catalogue-GBv2/>
- [3] PAČÍSKA, T. *Deskripce podtlakových manipulačních koncových efektorů průmyslových robotů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 46 s. Vedoucí práce prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc.
- [4] Po-Lin Liao, *Suction Cup*, Patent No.: US D553,478 S, Date of Patent: Oct. 23, 2007
- [5] Po-Lin Liao, *Suction Cup*, Patent No.: US D510853 S, Date of Patent: Oct. 25, 2005
- [6] JoeBen BEVIRT, *Suction Cup for rough surfaces*, Patent No.: US 2008/0217493 A1, Date of Patent: Sep. 11, 2008
- [7] JoeBen BEVIRT, *Suction Cup Device*, Patent No.: US 8,079,557 B2, Date of Patent: Dec. 20, 2011
- [8] Takayuki Akai, Makato Kawabata, *Suction Cu*, Patent No.: US 7,690,609 B2, Date of Patent: Apr. 6, 2010
- [9] Henryk Bury, *Vacuum suction cup, Especially for a windshield of a mechanical vehicle*, Patent No.: US 7,469,868 B2, Date of Patent: Apr. 6, 2010
- [10] Tsung-His Hsleh, *FIXING SUCKER STRUCTURE*, Patent No.: 6,045,111, Date of Patent: Apr. 4, 2000
- [11] Hu Bing-shan, Wang Li-wen, Fu Zhuang and Zhao Yan-zheng (2009). *Bio-inspired Miniature Suction Cups Actuated by Shape Memory Alloy*, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vedran Kordic, Aleksandar Lazinica and Munir Merdan (Ed.), ISBN: 1729-8806, InTech, DOI: 10.5772/7228. Available from: http://www.intechopen.com/journals/international_journal_of_advanced_robotic_systems/bio-inspired-miniature-suction-cups-actuated-by-shape-memory-alloy [3]
- [12] Willi Walte, *HYDRAULIC BRAKES FOR BICYCLES*, Patent No.: 5,368,136, Date of Patent: Nov.29, 1994
- [13] Příspěvatelé Wikipedie, *Bowden* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2013, Datum poslední revize 11. 03. 2013, 12:36 UTC, [citováno 27. 03. 2013] <<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Bowden&oldid=9901336>>
- [14] VAKUUM technik s.r.o.: Reklamní a propagační materiály, české zastoupení firmy PIAB Innovators in Vacuum Technology. Dostupné z WWW: <http://www.vakuumtechnik.cz/download.php>

- [15] Příspěvatelé Wikipedie, *Atmosférický tlak* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2013, Datum poslední revize 7. 03. 2013, 17:36 UTC, [citováno 27. 03. 2013] <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Atmosf%C3%A9rick%C3%BD_tlak&oldid=9833313>
- [16] Novotný, F. Chapadla pro roboty a automatickou manipulaci, učební text, TU v Liberci, Liberec 2009, 75s
- [17] <http://www.smc.cz/>, SMC Industrial Automation CZ s.r.o.: Katalogy. Dostupné z WWW: http://2009.oc.smc-cee.com/cz/pdf/LG2_Vakuum.pdf
- [18] VAKUUM technik s.r.o.: Reklamní a propagační materiály. Dostupné z WWW: <http://www.vakuumtechnik.cz/download.php>
- [19] HORÁK, M.: Dynamická manipulace s plochým sklem. Monografie vydaná na TU Liberec, FS za podpory Výzkumného záměru MŠMT CR c.MSM 4674788501TU, Liberec, listopad 2008.
- [20] Jihong Liu, K. Tanaka, L.M. Bao, I. Yamaura, Analytical modelling of suction cups used for window-cleaning robots, *Vacuum*, Volume 80, Issue 6, 10 March 2006, Pages 593-598, ISSN 0042-207X, 10.1016/j.vacuum.2005.10.002. Dostupné z WWW: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042207X05003350>)